

ACTA AGROPHYSICA



Andrzej Plak

**CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE ZAWARTOŚĆ
I FORMY ARSENU
W GLEBACH AGLOMERACJI LUBELSKIEJ**

149

**Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie**

**Rozprawy i Monografie
2007 (3)**

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny

Józef Horabik

Zastępca Redaktora Naczelnego

Grzegorz Józefaciuk

Sekretarz Redakcji

Wanda Woźniak

Rada Redakcyjna

Tomasz Brandyk, czł. koresp. PAN - przewodniczący

Ryszard Dębicki

Bohdan Dobrzański

Danuta Drozd

Franciszek Dubert

Tadeusz Filipek

Józef Fornal

Jan Gliński, czł. rzecz. PAN

Grzegorz Józefaciuk

Eugeniusz Kamiński

Andrzej Kędziora

Tadeusz Kęsik

Krystyna Konstankiewicz

Janusz Laskowski

Jerzy Lipiec

Piotr P. Lewicki

Stanisław Nawrocki, czł. rzecz. PAN

Edward Niedźwiecki

Viliam Novák, Słowacja

Josef Pecen, Czechy

Stanisław Radwan, czł. koresp. PAU

Jan Sielewiesiuk

Witold Stępniewski

Zbigniew Ślipek

Bogusław Szot

Tadeusz Przybysz

Opiniował do druku

prof. dr hab. Tadeusz Filipek

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61
e-mail: w.wozniak@ipan.lublin.pl, http://www.ipan.lublin.pl

Publikacja indeksowana przez
Polish Scientific Journals Contents - Life Sci. w sieci Internet <http://psjc.icm.edu.pl>

Praca finansowana z badań statutowych Zakładu Gleboznawstwa UMCS w Lublinie

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2007

ISSN 1234-4125

Acta Agrophysica są do nabycia w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie.
Prenumeratę instytucjonalną można zamawiać w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN
w Lublinie oraz w oddziałach firmy Kolporter S.A. na terenie całego kraju.
Informacje pod numerem infolinii 0801-205-555 lub na stronie internetowej
<http://www.kolporter-spolka-akcyjna.com.pl/prenumerata.asp>

Wydanie I. Nakład 150 egz. Ark. wyd. 11,8
Skład komputerowy: Irena Kulawiak
Druk: Drukarnia ALF-GRAF, ul. Kościuszki 4, 20-006 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE.....	5
1.1. Wstęp i cel pracy	5
1.2. Przegląd literatury	6
2. FIZJOGRAFIA TERENU BADAŃ.....	22
2.1. Położenie geograficzne.....	22
2.2. Budowa geologiczna	22
2.3. Rzeźba terenu	23
2.4. Warunki klimatyczne	24
2.5. Stosunki wodne	25
2.6. Szata roślinna	26
2.7. Pokrywa glebowa	28
3. ZAKRES I METODY BADAŃ.....	30
3.1. Badania terenowe	30
3.2. Badania laboratoryjne.....	31
4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ	40
4.1. Podstawowe właściwości gleb	40
4.2. Zawartość całkowita żelaza, glinu i manganu oraz ich różne formy pedogeniczne	48
4.3. Zawartość ogólna arsenu oraz As^{3+} i As^{5+}	51
4.4. Zawartość form arsenu wydzielonych podczas funkcjonalnej analizy specjacyjnej	55
5. DYSKUSJA	71
6. WNIOSKI	88
7. PIŚMIENNICTWO	89
8. STRESZCZENIE.....	93
9. SUMMARY	94
10. ZAŁĄCZNIKI	97

1. WPROWADZENIE

1.1. Wstęp i cel pracy

Wyraźny postęp cywilizacyjny, a co za tym idzie rosnąca świadomość zagrożeń związanych z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego sprawia, że koniecznością staje się regularne kontrolowanie losów substancji toksycznych w biosferze. Znalezienie ilościowych składników pozwalających ocenić wpływ różnych czynników i procesów na jakość gleb jest ciągle aktualna. Obrazem zmian wywołanym działalnością człowieka może być zawartość arsenu, zarówno całkowita, jak i udział poszczególnych grup związków o różnej rozpuszczalności i dostępności dla roślin oraz różnej podatności na migrację w glebie. Jest to szczególnie ważne w strefach zajmowanych przez miasta, ze względu na dużo wyższą dynamikę wszelkich procesów chemicznych, fizycznych i fizykochemicznych występujących na tym obszarze, w porównaniu do stref niezurbanizowanych. Do tego w aglomeracjach miejskich, czyli na stosunkowo niewielkim obszarze, zamieszkuje dużo ludzi potencjalnie narażonych na negatywne skutki oddziaływania tak specyficznego środowiska jakim są obszary zurbanizowane. Gleby na tych obszarach odgrywają kluczową rolę w obiegu pierwiastków i materii stanowią centrum akumulacji i transformacji substancji szkodliwych i potencjalnie szkodliwych. Stąd też, powinny zawsze być brane pod uwagę w rozważaniach na temat monitorowania środowiska i oddziaływania na jakość życia człowieka.

Ostatnie lata badań przynoszą weryfikowanie poglądów o kluczowej roli zawartości całkowitej pierwiastków, ich obiegu w przyrodzie, bądź w jednym z elementów środowiska jakim jest gleba. Oznaczenie całkowitej zawartości danego pierwiastka w analizowanym materiale daje często niewystarczające informacje, które mogłyby określić jego wpływ na środowisko, biodostępność, migrację czy też kumulację. Właściwości pierwiastków zależą zwykle od formy fizykochemicznej w jakiej występują, oraz wypadkowej oddziaływań otoczenia. Ochrona środowiska oraz badanie przemian i obiegu pierwiastków musi uwzględniać powyższe aspekty by dać pełniejszy obraz poruszanej problematyki. Dotyczy to także zagadnień mówiących o czynnikach kształtujących zawartość i formy arsenu w glebach aglomeracji lubelskiej. Zachowanie tego pierwiastka w glebach zależne jest od warunków chemicznych, fizycznych oraz przemian biochemicznych, jakim ulegają związki arsenu. Pod uwagę winien być także brany czynnik ludzki, tak istotny w przypadku oddziaływania na gleby zlokalizowane na obszarze miast. Nie należy zapominać także o różnym poziomie toksyczności związków arsenu.

Gleby obszarów zurbanizowanych, w tym Lublina podlegające wielorakim presjom antropogenicznym, charakteryzują się zmianą ich właściwości chemicznych, fizykochemicznych, fizycznych i biologicznych oraz przekształceniem budowy morfologicznej. W środowisku miejskim znalezienie gleb bez domieszek antropogenicznych jest bardzo trudne, a czasami wręcz niemożliwe.

Celem pracy jest określenie, którym właściwościom glebowym i sposobom użytkowania można przypisać dominującą rolę w zatrzymywaniu, uruchamianiu i przemianie arsenu w glebach aglomeracji miejskiej, oraz sprawdzenie czy specyfika gleb aglomeracji miejskiej na przykładzie Lublina wpływa na zmianę zachowań arsenu. Rezultaty badań mogą zostać wykorzystane do określenia naturalnego tła zawartości arsenu w wybranych glebach Lublina oraz jako kryterium przy szacowaniu poziomu koncentracji arsenu pochodzenia antropogenicznego w glebach innych obszarów miejskich. Celem badań jest także ocena zagrożeń związanych z zawartością i rozmieszczeniem arsenu w glebach miasta Lublina.

1.2. Przegląd literatury

Arsen znany ze swych toksycznych właściwości, zajmuje znaczące miejsce wśród rozpoznawanych przez człowieka trucizn. Należy jednak pamiętać, że niektóre organiczne związki arsenu pochodzenia naturalnego (arsenobetaina, arsenocholina) uważane są za nietoksyczne lub mało toksyczne (Nriagu 1994a). Dużym uproszczeniem jest traktowanie tego pierwiastka jako trucizny nie odnosząc się do jego form występowania.

Arsen był już znany od bardzo dawna. Właściwości siarczków arsenu i trójtlenku arsenu były wykorzystywane przez alchemików i profesjonalnych trucicieli już w starożytności i w średniowieczu. Na przestrzeni wieków wielokrotnie opisywano dawki związków arsenu do otrucia, ale także i działań leczniczych. Żyjący w latach 1193-1280 Albertus Magnus, został uznany, za odkrywce tego pierwiastka. Udało mu się wydzielić elementarny arsen przez grzanie siarczku arsenu z mydłem (Frankenberger 2002). Arsen jest półmetalem i nie bez powodu nazwa wybrana dla tego pierwiastka pochodzi od greckiego „arsenikos” oznaczającego „silny, bojowy”. Gdyby socjologowie pokusili się o postawienie pytania w ankiecie, z czym kojarzy się respondentowi słowo „arsen”. Wyniki tych badań byłyby proste do przewidzenia. Ten szary półmetal stanąłby w jednym rzędzie z rtęcią, dioksynami, bombą atomową i skażeniem promieniotwórczym, czy w najlepszym razie węglikowym atakiem terrorystycznym i plagami egipskimi. Jednak rzeczywistość nie jest tak okrutna dla tego pierwiastka. W całej pełni sprawdzają się tu powiedziane przed wiekami słowa Paracelsusa (1493-1541) „Wszystko jest trucizną i nic nie jest trucizną”, sparafrazowane przez chemików, „jedynie wszystko zależy od dawki”. Arsen jest pierwiastkiem o dwu obliczach. W niewielkich dawkach, jest lekarstwem gdyż działa

przeciw anemii, poprawia apetyt i wzmacnia organizm i co ciekawe jest odtrutką na nadmierne dawki selenu, skądinąd uznawanego za jeden z pierwiastków życia. Z kolei nadmierne stężenie arsenu jest trujące, gromadzi się on we włosach i paznokciach, wywołuje nowotwór krtani i oczu, a także białaczkę szpikową. Warto jednak zauważyć, że jest mniej niebezpieczny niż kadm, beryl, ołów czy rtęć (Nriagu 1994b).

Zastosowanie arsenu w medycynie znane było już w czasach starożytnych i średniowieczu. Rhazes (850-925) zalecał podawanie związków arsenu przy astmie, chorobach płuc, chorobach skóry i owrzodzeniach. Mieszanka związków arsenu, niegaszonego wapnia i opium ponoć skutecznie leczyła krwawe biegunki. Arsen w swoich kuracjach stosowali Avicena (980-1037) czy John Baptista Porta (1537-1615) „lecząc” astmę czy wszawice. Arsenowej modzie nie oparł się Paracelsus, używając związków arsenu wewnątrzustrojowo na guzy rakopodobne. Wiedział i uwzględniał jednak dużą toksyczność związków arsenu. Podwójna rola arsenu, jako trucizny i substancji toksycznej, a jednocześnie lekarstwa jest niezwykle ciekawa. Związki arsenu jednocześnie mogą powodować nowotwory i je leczyć. Pozwala to między innymi na opracowanie nowych metod chemioterapii nowotworów z wykorzystaniem arsenu. Promieniotwórczy izotop ^{74}As jest stosowany jako wskaźnik promieniotwórczy w medycynie do wykrywania i lokalizacji nowotworów mózgu (Nriagu 1994b, Frankenberger 2002).

Nie należy zapominać jednak, że większość związków arsenu to silne trucizny. Dawka śmiertelna arseniku (As_2O_3) dla człowieka to zaledwie 0,1 g. Na podstawie ocen ekspertów FAO/WHO dotyczących szkodliwego działania arsenu uznano, że dawki powyżej $250 \mu\text{g}\cdot\text{dzień}^{-1}$ są dla człowieka trujące (Seńczuk 2002).

Związki arsenu dostają się do organizmu ludzi i zwierząt przez przewód pokarmowy, przez drogi oddechowe, a także przez skórę. Fizjologiczna dawka arsenu dla dorosłego człowieka wynosi $12\text{-}25 \mu\text{g}\cdot\text{dzień}^{-1}$. Średnie stężenie arsenu w organizmach mieszkańców Europy Zachodniej oblicza się na $0,025\text{-}0,03 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a podwyższone zawartości występują w wątrobie oraz we włosach, paznokciach, kościach i skórze (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Zwłaszcza poziom arsenu we włosach jest często wykorzystywany w rozpoznawaniu zatruc (naturalna zawartość wynosi $2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Ostre zatrucia powodują przede wszystkim uszkodzenia przewodu pokarmowego, przewlekłą hemolizę, uszkodzenia nerek, łamliwość włosów i paznokci oraz zmiany skórne (rogowacenie, przebarwienie). Arsen jest ponadto czynnikiem kancerogennym i teratogennym, a zmiany spowodowane jego toksycznym działaniem mogą wystąpić po długim okresie utajenia (Kabata-Pendias i Pendias 1999).

Główne przyczyny toksyczności omawianego pierwiastka wynikają z faktu, że arseniany (V) wykazują podobieństwo do fosforanów i powodują zaburzenia przemian biochemicznych cyklu Krebsa (rozkojarzenie procesu mitochondrialnej oksydacyjnej fosforyzacji), zaś arseniany (III), na skutek tworzenia kowalencyjnych

wiązań z siarką dezaktywują wiele enzymów. Inhibicja enzymów następuje po zablokowaniu grup sulfhydrylowych białek (szczególnie inhibicja enzymów NAD-zależnych) (Frankenberger 2002, Seńczuk 2002). Toksyczne właściwości związków arsenu można uszeregować w następujący sposób: $H_3As > Me_3As_n >$ nieorganiczne związki As(III) > nieorganiczne związki arsenu (V) > organiczne pochodne > As(0) (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Frankenberger 2002).

Trzeba wspomnieć, że toksyczne właściwości związków arsenu, choć znane od dawna ludziom, dopiero w drugiej połowie XX wieku zostały właściwie ocenione. Wcześniejszy okres od 1850 do 1950 to złoty wiek arsenu. Ludzie wykorzystywali jego toksyczne właściwości w medycynie i przy produkcji żywności. Arsen był składnikiem wielu środków ochrony roślin, które używane w nadmiarze powodowały wzrost jego zawartości w glebie, a tym samym w roślinach i owocach. W wyniku zanieczyszczenia arsenem wód gruntowych i rzek, a w konsekwencji mórz i oceanów potencjalnym źródłem arsenu w żywności stały się także ryby morskie i skorupiaki (Szteke i Ręczajska 1994). Widać stąd, że arsen do żywności może być wprowadzany we wszystkich ogniwach łańcucha pokarmowego, przy czym istotną rolę odgrywa środowisko przyrodnicze z naturalną, wysoką zawartością arsenu lub zanieczyszczone w wyniku emisji przemysłowych oraz stosowania środków ochrony roślin zawierających ten pierwiastek. Skutki ekspozycji na wysokie stężenia arsenu w wodzie do picia, bądź żywności zostały wykazane w badaniach przesiewowych ludności w Ameryce Południowej, Tajwanie, Indii, Meksyku. Obszar południowo-zachodniego wybrzeża Tajwanu, Bangladeszu i Indii zostały określone mianem „endemicznego rejonu choroby czarnej stopy” związanej z powodowanymi przez arsen chorobami naczyń obwodowych i w następstwie gangreną i czernieniem stóp (Mandal i in. 1998, Acharyya i in. 2000, Folkes i in. 2001, Cappuyns i in. 2002).

Na obecnym etapie rozwoju nauki, arsen został zaliczony do grupy tzw. „częściowo niezbędnych pierwiastków śladowych”, czyli mikroskładników, które wywierają dobroczynny wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka i zwierząt, ale w granicach ściśle określonych stężeń (Pais 1992).

Mimo, że skutki oddziaływania związków arsenu na organizmy żywe, a przede wszystkim na człowieka były znane od dawna, nie doprowadziło to na przestrzeni wieków do opracowania szybkich i czułych metod oznaczania tego pierwiastka. Dopiero w 1789 roku, niemiecki fizyk Hahnemann, opisuje w książce zatytułowanej „O truci arszenikiem”, oznaczanie śladowego poziomu arsenu w medycynie sądowej. Jedną z pierwszych procedur opisujących oznaczanie arsenu był „test March’a. Procedura polegała na redukcji arsenu zawartego w badanej próbce wodorem „in statu nascendi” wytworzonego w reakcji chlorowodoru z cynkiem. Następnie wodór był zapalany, a płomień kierowany na zimną powierzchnię. Obecność metalicznego arsenowego lustra świadczyła o obecności tego pierwiastka

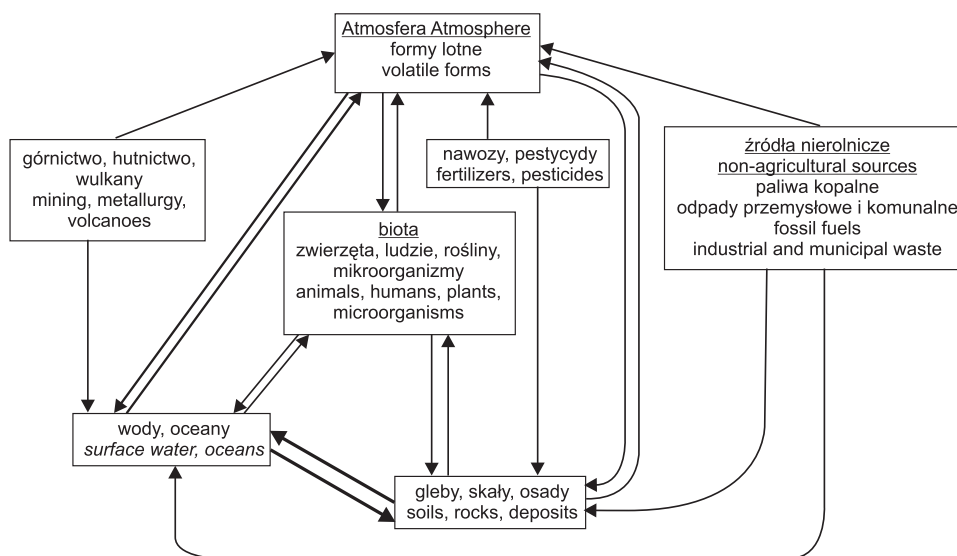
w próbce. Zastosowanie próby Marsh'a w sądowych laboratoriach poskutkowało dużym spadkiem morderstw z zastosowaniem arszeniku (Nriagu 1994b, Frankenberger 2002). Wyższą czułością ($0,1 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) charakteryzowały się spektrofotometryczne metody oznaczania arsenu. Do najczęściej stosowanych należą: metoda Gutzeita oraz metody z wykorzystaniem dietyloditiokarbaminianu srebra (Ag-DDTK) i molibdenianu amonowego. Prostota wykonywania oznaczeń, stosunkowo tania i nieskomplikowana aparatura, sprawiają, że przy oznaczaniu arsenu w wodach, ściekach, próbkach organicznych i nieorganicznych, metody spektrofotometryczne wykorzystywane są do dnia dzisiejszego i zalecane są przez polskie normy (PN-81/C-04511, PN-88/C-04594/01). Niestety często granice wykrywalności wspomnianych wcześniej metod oznaczania arsenu były zbyt niedokładne by określić poziom tego pierwiastka w nieskażonych biologicznych próbkach. Wraz z rozwojem technik instrumentalnych została udowodniona powszechna obecność arsenu w naszym środowisku. Do najpopularniejszych i obecnie najczęściej cytowanych metod analitycznych wykorzystywanych do oznaczeń zawartości arsenu należy zaliczyć: absorpcyjną spektrometrię atomową z generacją wodoroków (HGAAS), absorpcyjną spektrometrię atomową z atomizacją elektrotermiczną (ETAAS), emisyjną spektrometrię atomową z plazmą sprzężoną indukcyjnie (ICP-AES), spektrometrię masową z plazmą sprzężoną indukcyjnie (ICP-MS). Rozwój analitycznych technik zmienił też kwalifikację związków arsenu z substancji toksycznych, do podstawowego pierwiastka śladowego (Jędrzejczak 1994, Domkröger i in. 1997, Mattusch i in. 2000, Vassileva i in. 2001, Väisänen 2002).

Pod koniec XX wieku w pełni zrozumiano, że informacje o całkowitej zawartości arsenu są niewystarczająca do rozpatrywania klinicznych i środowiskowych zagadnień dotyczących tego pierwiastka. Toksyczność oraz zachowanie arsenu w środowisku zależy w dużej mierze od jego chemicznych form. Dopiero udoskonalenie technik analitycznych w kierunku większej czułości i selektywności dało możliwość oznaczenia form arsenu w środowisku. Bardzo często konieczne było także bezpośrednie łączenie wysokosprawnych urządzeń separujących (chromatografia) z bardzo czułymi i selektywnymi detektorami (Jędrzejczak 1994, Gong i in. 2002).

Arsen jest pierwiastkiem powszechnym w przyrodzie. W skorupie ziemskiej całkowita ilość arsenu szacowana jest na $4,01\cdot 10^{16}$ kg. Dane do wyliczeń oparto na średnim stężeniu tego pierwiastka w materiale skalnym. Szacuje się, że rocznie z litosfery uwalnia się $1,715\cdot 10^7$ kg arsenu, z czego dominującą część stanowi działalność wulkaniczna. Do tego należy dodać erupcje wulkanów podwodnych uwalniających do środowiska rocznie $4,87\cdot 10^6$ kg As (Matschullat 2000). Arsen wchodzi w skład ponad 200 minerałów towarzysząc siarce i minerałom siarczkowym. Zajmuje on pod względem rozpowszechnienia w skorupie ziemskiej 21 miejsce (Nriagu 1994a). Przybliżona ocena zawartości omawianego pierwiastka w środowisku wykazuje,

że około 99% z całkowitego arsenu występuje w skałach. Występuje głównie w postaci arsenianów (np. skordyt FeAsO_4 oraz siarczków, arsenopiryty FeAsS , aurypigment As_2S_3 i realgar As_4S_4). Złoża arsenu występują w Rosji, Szwecji i Norwegii. Wysoka zawartość arsenu w skałach jest skutkiem łatwości łączenia arsenu z krzemem, glinem i żelazem. Koncentracja arsenu w skałach zależy także od typu skały, np. skały osadowe zawierają wyższą koncentrację arsenu niż skały metamorficzne. Średnie koncentracje arsenu spotykane w piaskowcach, wapieniach, i łupkach wynoszą kolejno 2,6; 4,1; 14,5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ As, jednakże, koncentracje w łupkach mogą sięgać od 0,3 do 250 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a nawet do 500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Nriagu 1994a).

Związki arsenu są powszechne w środowisku. Elementy przyrody takie jak: skały, gleby i oceany zawierają dużo więcej arsenu niż biosfera (rośliny, zwierzęta, człowiek, mikroorganizmy) czy atmosfera. Wszystkie one składają się na obieg tego pierwiastka w środowisku (Matschullat 2000, Gong i in. 2002). Z trzech głównych elementów środowiska naturalnego (powietrze, woda, gleba) najdłuższego czasu na samooczyszczenie wymaga gleba, która zregenerować się może dopiero po kilku tysiącach lat. Najszybciej po ustaniu dopływu skażeń, oczyści się powietrze (po kilku dobach), nieco później woda (po kilku latach) (Skinder 1998). Największe ilości arsenu przenikają z ładu i atmosfery do oceanów, następnie pierwiastek ten gromadzi się w osadach, które podczas ruchów łądotwórczych są wypiętrzane. Ilość pierwiastka przenikająca z oceanu do osadów oraz do fauny i flory jest wysoka. Natomiast, ilości przenikające z gleb do biosfery i na odwrót są niskie.



Rys. 1. Cykl arsenu w przyrodzie
Fig. 1. Arsenic cycle in the environment

W środowisku przyrodniczym arsen może występować na czterech stopniach utlenienia (-3, 0, +3, +5) w zależności od warunków oksydacyjno-redukcyjnych i pH, tworząc przy tym wiele związków organicznych i nieorganicznych (tab.1). Arsen w glebie najczęściej jest obecny w postaci anionu H_2AsO_4^- lub związku H_3AsO_3 , który dominuje w warunkach redukcyjnych i kwaśnym odczynie (Nriagu 1994a, Matschullat 2000).

Zawartość arsenu w atmosferze szacowana jest na $1,74 \cdot 10^6$ kg, z czego $1,48 \cdot 10^6$ kg As przypada na półkulę północną, a $0,26 \cdot 10^6$ kg na południową. Arsen w powietrzu atmosferycznym występuje w różnych stężeniach, od $0,007 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ w okolicach bieguna południowego do $120 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ w Japonii.

Za naturalne stężenie arsenu w powietrzu, pochodzące głównie z działalności wulkanicznej i procesów wietrzenia skał, uznaje się $0,01\text{-}1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$. Globalna antropogeniczna emisja arsenu do atmosfery wynosi około 18 tys. ton rocznie, w tym największy udział przypada na spalanie węgla i hutnictwo metali. Emitowane są głównie łatwo lotne związki arsenu (CH_3As , AsH_3) oraz pyły (As_2O_3 , As_2S_3).

Jedną z możliwości zatrucia związkami arsenu jest jego wniknięcie do organizmu człowieka poprzez drogi oddechowe. Dlatego też zostały wyznaczone górne limity zawartości tego pierwiastka w powietrzu. Najwyższe dopuszczalne stężenie arsenu w powietrzu w Polsce, oznaczanego według normy PN-75/Z-04011 ark. 02, wynosi $0,01 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ (Kabata-Pendias i Pendias 1993, Matschullat 2000).

Arsen jest powszechnym składnikiem wód, a jego zawartość zależy od budowy geologicznej miejsc, z którymi kontaktuje się woda. Zawartość arsenu znajdującego się w wodach naturalnych mieści się w szerokich granicach od 0,5 do $5000 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Szacuje się, że całkowita ilość arsenu we wszystkich składnikach hydrosfery wynosi $5,18 \cdot 10^{12}$ kg As, z czego na wody morskie przypada $2,38 \cdot 10^{12}$ kg tego pierwiastka (Matschullat 2000).

W środowisku wodnym formy arsenu ulegają chemicznym i mikrobiologicznym reakcjom utleniania i redukcji uzależnionymi od poziomu Eh i pH. Przy wysokim poziomie Eh (-400 do 800 mV), dominują formy arsenu na V stopniu utlenienia, występujące jako H_2AsO_4^- (dla pH 2,5-7) i HAsO_4^{2-} (dla pH >7), stanowiąc ponad 90% jako rozpuszczalna forma As. Przy niskim Eh (-800 do -400 mV) dominującą formą są związki arsenu na III stopniu utlenienia, występujące jako H_3AsO_3 (dla pH <5). W osadach dennych bogatych w związki siarki i substancje organiczną arsen obecny jest w postaci As_2S_3 przy pH <7 i AsS_2 przy pH >7 (Nriagu 1994a, Daus *et al.* 2000). Osady oprócz form nieorganicznych zawierają także formy organiczne arsenu (kwas monometyloarsoniowy, kwas dimetyloarsenowy, trimetyloarsyna, arsenobetaina, arsenocholina) tworzone przy aktywnym udziale bakterii beztlenowych (*Candida humicola*, *Alcaligenes faecalis*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavobacterium*) (Frankenberger 2002). W wodach arsen współwytrąca się z solami innych metali takimi jak: cynk, ołów, nikiel, żelazo i bar. Jest sorbowany głównie przez osady denne, szczególnie przez wodorotlenki żelaza i glinu, związki siarki oraz substancję organiczną (Kabata-Pendias i Pendias 1999).

Tabela 1. Najczęściej spotykane związki arsenu w próbkach biologicznych lub środowiskowych
Table 1. Most common arsenic compounds in biological samples

Nazwa związku Chemical compound	Wzór sumaryczny Concise pattern	Występowanie Occurrence
Kwas arsenowy (V) Arsenic acid (V)	H_3AsO_4	skały, gleby, wody (słodkie, słone), organizmy morskie, lądowe, powietrze rocks, soils water (fresh and saline), marine organisms, land organisms, air
Kwas arsenowy (III) Arsenous acid (III)	H_3AsO_3	gleby, skały, wody (słodkie, słone), organizmy morskie, lądowe, powietrze soils, rocks, water (fresh and saline), marine organisms, land organisms, air
Kwas monometyloarsoniowy (MMA) Monomethylarsonic acid	$MeAsO_3H_2$	gleby, grzyby bakteriesoils, fungi, bacteria
Kwas dimetyloarsenowy (DMA) dimethylarsonic acid	Me_2AsO_2H	gleby, grzyby bakteriesoils, fungi, bacteria
Trimetyloarsyna (TMAs) trimethylarsine	Me_3As	bagna, gejzery bakterieswamps, geysers, bacteria
Arsenowodór Arsine	AsH_3	bagna, gejzery, bakterieswamps, geysers, bacteria
Tlenek trimetyloarsynowy (TMAsO) Trimethylarsine oxide	$Me_3As^+O^-$	wody (słodkie i słone), organizmy morskie (bakterie, algi, mięczaki), organizmy lądowe (grzyby) water (fresh and saline), marine organisms (bacteria, algae, mollusca), land organisms (fungi)
Jon tetrametyloarsoniowy (TETRA) Tetramethylarsonium cation	Me_4As^+	wody (słodkie i słone), organizmy morskie (bakterie, algi, mięczaki), organizmy lądowe (grzyby) water (fresh and saline), marine organisms (bacteria, algae, mollusca), land organisms (fungi)
Octan trimetyloarsoniowy (arsenobetaina) (AsB) Arsenobetaine	$Me_3As^+CH_2COO^-$	wody słone, organizmy morskie (bakterie, algi, mięczaki), organizmy lądowe (grzyby, rośliny wyższe, dżdżownice, mrówki) saline water, marine organisms bacteria, algae, mollusca), land organisms (fungi, higher plants, earthworms, ants)
2-trimetyloarsonioetanolarse nocholina (AsC) Arsenocholine	$Me_3As^+CH_2CH_2OH$	organizmy morskie (bakterie, algi, mięczaki), organizmy lądowe (grzyby) marine organisms (bacteria, algae, mollusca), land organisms (fungi)

Niektóre źródła mineralne występujące w Polsce zawierają kwas arsenowy, który wraz z innymi związkami posiada działanie lecznicze. Wody najbogatsze w ten pierwiastek występują w Kotlinie Kłodzkiej w szczawach wodorowęglanowo-wapniowo-sodowych o mineralizacji powyżej $1300 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. W zależności od pochodzenia stwierdzono w nich obecność arsenu w stężeniach sięgających $3500 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Połec-Pawlak i in. 2004). W powierzchniowych wodach Polski średnia zawartość arsenu nie przekracza $40 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, chociaż punktowo osiąga nawet wartości powyżej $6\ 000 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Kabata-Pendias i Pendias 1999). W wodach rzeki Tacone w Chile, przepływającej przez skały bogate w ten pierwiastek, stężenie arsenu sięga nawet $800 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, wysokie stężenia arsenu w wodach powierzchniowych i gruntowych oznaczono także w strefie wulkanicznej Zimapán Halley, 200 km na północ od Mexico City, czy w Hetao w Chinach, oraz wielu prowincjach Bangladeszu i Indii (Kabata-Pendias i Pendias 1993, Chatterjee 1999, Acharyya i in. 2000, Armienta i in. 2001, Zhang i in. 2002). W Polsce podwyższone zawartości arsenu pochodzenia naturalnego stwierdzono w potokach Trująca i Jamnica w Karkonoszach, mieszczą się one w granicach od $0,7$ do $5,8 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Siemiński 2001), czy w potoku Złoty Stok gdzie maksymalna zawartość arsenu wyniosła $26,16 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Marszałek i Wąsik 2000).

Dopuszczalna zawartość arsenu w wodzie pitnej w krajach Unii Europejskiej, a także zalecana przez WHO wynosi $10 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (WHO 1994, European Union 1998). W Polsce już od roku 2000 obowiązuje dopuszczalne maksymalne stężenie arsenu w wodzie pitnej na unijnym poziomie (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19.11.2002 r. w sprawie wymagan dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 203, poz. 1718).

Zawartość arsenu w glebach cechuje wysoka zmienność. Wiązanie tego pierwiastka przez wiele składników gleby powoduje jego nagromadzenie w warstwie powierzchniowej (do 20 cm). Zawartość arsenu w glebach jest dość zróżnicowana i waha się zwykle od $0,1$ - $95 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 2). Najwyższe stężenia arsenu stwierdzono w glebach ilastych oraz w glebach bogatych w składniki organiczne, związki żelaza, glinu i fosforu. Są to także składniki glebowe, które biorą istotny udział w sorpcji i desorpcji arsenu w glebie, czyli jego mobilności (Nriagu 1994a, Chen i in. 2001, Chen i in. 2002). Koncentracja arsenu w glebach pozbawionych wpływu czynników antropogenicznych zależy od ich typu i właściwości gleb, a głównym źródłem tego pierwiastka jest skała macierzysta. Arsen koncentruje się w minerałach bogatych w siarkę pochodzenia magmowego i w rudach żelaza. Poziom arsenu w glebach bogatych w te rudy i związki siarkowe jest wyższych od innych gleb. Stwierdzono, że w glebach pochodzenia wulkanicznego średnia zawartość arsenu bywa 10-krotnie większa od obszarów gdzie gleby pochodzenia wulkanicznego nie występują. Przy rozważaniach na temat wpływu rodzaju skały macierzystej na zawartość arsenu w glebie stwierdzono, że poziom arsenu w glebie pochodzącej z granitu jest niższy niż

Tabela 2. Arsen w powierzchniowych poziomach gleb różnych krajów ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w przeliczeniu na suchą masę (Kabata-Pendias i Pendias 1999)

Table 2. Arsenic in surface horizons of soils of different countries (mg kg^{-1} of dry mass)

Rodzaj lub typ gleby Soil kind or type	Kraj – Country	Zakres – Range	Średnia – Mean value
Piaszczysta (bielice) Sandy (podzols)	W. Brytania – Great Britain	5,1-6,8	–
	Japonia – Japan	1,2-6,8	4,0
	Kanada – Canada	1,1-28,9	5,8
	Korea Pd. – South Korea	2,4-6,8	4,6
	Polska – Poland	0,5-15	2,0
	Stany Zjedn. - USA	<0,1-30	5,1
Gliniasta Loamy	Kanada – Canada	1,3-16,7	4,8
	Polska – Poland	1,4-10	4,5
	Tajlandia – Thailand	7,2-18,4	12,8
	Stany. Zjedn. – USA	1,7-27	7,7
Aluwialna Alluvial	Bułgaria – Bulgary	–	3,4
Czarnoziem Chernozem	Bułgaria – Bulgary	8,2-11,2	8,5
	Stany Zjedn. – USA	1,9-23	8,8
Organiczna Organic	Kanada – Canada	1,8-66,5	13,6
	Stany Zjedn. - USA	<0,1-48	5,0
Leśna Forest	Norwegia – Norway	0,6-5	2,2
	Stany Zjedn. – USA	–	7,0
Różne Various	W. Brytania – Great Britain	4-95	16,3
	Bułgaria – Bulgary	2-10,4	5,6
	Japonia – Japan	0,4-70	11,0
	Kanada – Canada	<1-30	5,8
	Polska – Poland	0,1-10,3	3,3
	Stany Zjedn. – USA	<1-93	7,0

pochodzącej z bazaltu. Natomiast gleby wytworzone z granitu w różnych krajach, czy kontynentach mają z reguły zbliżoną zawartość badanego pierwiastka. W czasie powstawania gleb ze skał osadowych arsen wytrąca się na trudno rozpuszczalnych wodorotlenkach żelaza i glinu oraz siarczku. Dlatego też w glebach pochodzących ze skał osadowych jego zawartość utrzymuje się zwykle na poziomie $20\text{-}30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Nriagu 1994a).

W rejonach przemysłu metalurgicznego i chemicznego oraz dużych aglomeracji miejskich jego stężenie w glebie osiągać może wartości nawet $2500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Cappuyns 2002). Wielu autorów opracowań dotyczących losów arsenu w środowisku zwraca uwagę na trudność określenia uniwersalnych limitów regulujących jednoznacznie bezpieczną zawartość tego pierwiastka w glebie.

Głównym kryterium, które stoi u podstaw limitu dopuszczalnej zawartości arsenu w glebie jest zwykle jej przeznaczenie. W tych rozważaniach często nie jest brane pod uwagę naturalne tło geochemiczne i inne czynniki mające wpływ na wzrost lub spadek koncentracji tego pierwiastka w glebie. Wynika to z faktu, udowodnionej dużej toksyczności, kancerogenności i mutagenności arsenu, oraz dowiedzionej zależności między zawartością arsenu w glebie, a jego koncentracją w żywności wyprodukowanej na tym obszarze. Niestety w działaniach, mających na celu wprowadzenie jasnych norm czystości gleb uwidacznia się brak spójności. Ministerstwo Środowiska Kanady (jednego z najbardziej proekologicznych krajów świata) wprowadziło dopuszczalne zawartości arsenu w glebach na poziomie; $25\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla gleb użytkowanych rolniczo, $50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla gleb w strefie uprzemysłowionej i $25\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla gruntów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową (Zhang i in. 2002). Wielka Brytania zastosowała inne kryteria przy ustalaniu dopuszczalnej zawartości arsenu w glebach królestwa. Ziemia w przydomowych ogródkach nie powinna zawierać więcej niż $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ arsenu, natomiast w parkach, na boiskach i na innych otwartych przestrzeniach koncentracja arsenu nie powinna przekraczać poziomu $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Acharyya 2000). Dopuszczalna zawartość arsenu w glebach użytkowanych rolniczo, w Polsce wynosi $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Mniej restrykcyjne normy dotyczą gruntów pod zabudowę, terenów rekreacyjnych i zurbanizowanych. Należy pamiętać by ocenę zanieczyszczenia gleb przeprowadzać w oparciu o tzw. graniczne zawartości badanego pierwiastka, odnoszące się do wyznaczonego tła geochemicznego badanego obiektu (Baran i in. 2003).

Do antropogenicznych źródeł As należy:

- wysokotemperaturowe spalanie ropy naftowej, węgla kamiennego i brunatnego w elektrowniach (popioły),
- przemysł metalurgiczny (jako topiki w hutnictwie metali nieżelaznych i żelaznych),
- przemysł wydobywczy,

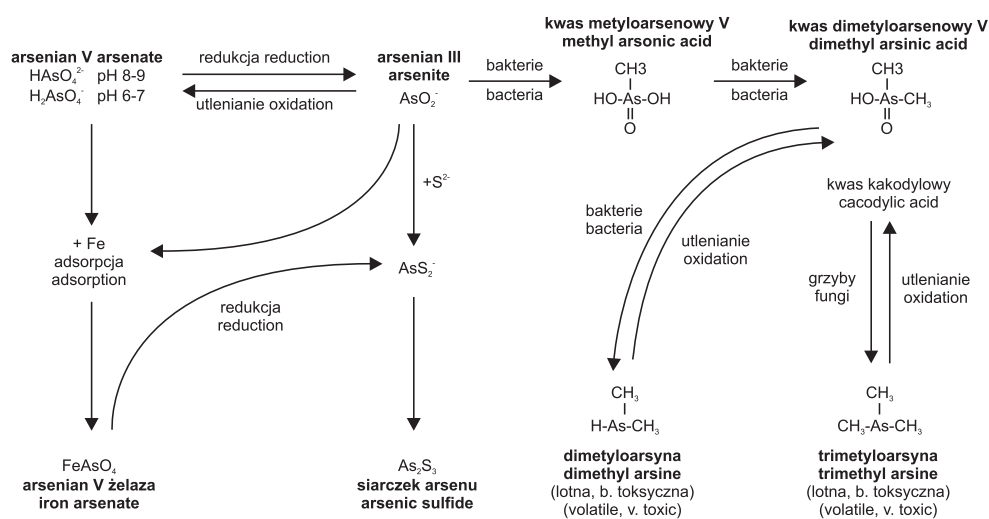
- cementownie,
- nawozy rolnicze (fosforowe)
- pestycydy,
- kompost i obornik,
- odpady z gospodarstw domowych,
- środki do wybarwiania szkła,
- przemysł elektroniczny (jako dodatek do półprzewodników, przy produkcji laserów),
- odpady z procesów galwanizacyjnych,
- odpady przy produkcji amunicji i środków pirotechnicznych
- przemysł farmaceutyczny,
- przemysł chemiczny (barwniki i farby kolorowe, środki do impregnacji drewna, środki do osuszania bawełny),
- środki do garbowania skór.

Szacuje się, że całkowite roczne zanieczyszczenie arsenem w wyniku działalności człowieka wynosi $9,4 \cdot 10^7$ kg, z czego 41% pochodzi z odpadów produkcyjnych, 23% ze spalania węgla, 14% z depozycji atmosferycznej (pyły, deszcz), 10% z odpadów materiałowych, 7% z wytopu rud (metalurgii), 3% z rolnictwa, 2% innych pomniejszych źródeł (Nriagu 1994a, Matschullat 2000).

W powierzchniowych warstwach gleby dookoła odlewni w Oita w Japonii zawartość arsenu wyniosła $2490 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. W Chinach w dzielnicy w Xing-Ping w glebie z pól ryżowych nawadnianej przez 10 lat wodą z zakładów chemicznych produkujących nawozy fosforowe zawartość arsenu osiągnęła wartość $130 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, natomiast próbki glebowe pobrane z pól nienawadnianych zanieczyszczoną wodą wykazywały zawartość arsenu na poziomie $16,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Istotnym źródłem arsenu w glebie jest także stosowanie środków ochrony roślin i nawozów fosforowych. W wielu regionach o długiej kulturze rolniczej gleba akumulowała pozostałości związków arsenu używanych jako fungicydy, herbicydy, insektycydy. Dodatkowo wyższe stężenie arsenu w glebie notowano bezpośrednio pod drzewami niż pomiędzy drzewami. Koncentracja arsenu w glebach powierzchniowych sadów australijskich i z Tasmanii była średnio od 25 do 35 razy większa od tła. Porównawcze badania gleb na zawartość arsenu poddanych silnej i niewielkiej antropopresji wskazują, że na obszarach uprzemysłowionych, zurbanizowanych, czy intensywnie użytkowanych rolniczo koncentracja tego pierwiastka jest większa (Nriagu 1994a, Jung i in. 2002, Chirenje i in. 2002).

Arsen w glebie tworzy szereg anionów kompleksowych, z których AsO_4^{3-} wykazuje podobieństwo chemiczne do jonu fosforanowego. Najczęściej występuje na piątym stopniu utlenienia w postaci anionu H_2AsO_4^- oraz jako trójwartościowy związek H_3AsO_3 , który dominuje w warunkach redukcyjnych o niskim pH. Formy arsenu w glebach zależą nie tylko od warunków oksydacyjno-redukcyjnych, ale

także od procesów mikrobiologicznych, którym ulegają. Prowadzą one do powstawania organicznych pochodnych, z których najczęściej spotkany jest kwas metyloarsenowy, kwas dimetyloarsenowy, dimetyloarsyna, trimetyloarsyna (Nriagu 1994a, Chappell i in. 1995, Kabata-Pendias i Pendias 1999) (rys. 2). W wyniku długotrwałego używania pestycydów i herbicydów zawierających arsen (Na_2HAsO_4 , MMA i DMA) oraz nakładania się innych czynników wzbogacania gleby arsenem (nawozy fosforowe, nawadnianie, wapnowanie), następuje akumulacja tego pierwiastka. Przy odpowiednim pH i warunkach utleniająco-redukujących nieorganiczne formy arsenu mogą być konwertowane do organoarsenowych związków przez glebowe mikroorganizmy (Lin i Puls 2000, Frankenberger 2002).



Rys. 2. Schemat przemian arsenu w glebie (Nriagu 1994a)

Fig. 2. Arsenic transformations in soils

Biologiczna dostępność, fizjologiczne i toksyczne oddziaływanie arsenu zależy od jego chemicznych form (As^{3+} jest dużo bardziej toksyczny, łatwiej rozpuszczalny i bardziej mobilny od As^{5+}). Pod wpływem utleniających czynników kwas arsenowy (III) H_3AsO_3 w glebach może utlenić się do kwasu arsenowy (V) H_3AsO_4 . Istnieje także ścisła zależność między formami arsenu rozpuszczalnego, a odczynem gleby i środowiskiem utleniająco-redukcyjnym. Zawartość rozpuszczalnego arsenu znacząco rośnie wraz z obniżaniem Eh i wzrostem pH gleby (Vink 1996, Carbonell-Barrachina i in. 1999). Ma to szczególne znaczenie w przypadku gleb dotkniętych

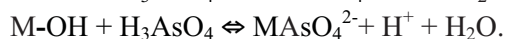
powodziami lub systematycznie zalewanym. W warunkach beztlenowych arseniany (V) redukowały się do arsenianów (III), a te będąc bardziej mobilną formą w odpowiednim układzie pH i Eh przechodziły w formę rozpuszczalną. Omówiony proces ma szczególne znaczenie w kontekście możliwości zanieczyszczenia wód gruntowych i w konsekwencji skażenia toksycznymi związkami arsenu wody pitnej (Mandal i in. 1998, Chatterjee i in. 1999).

Utlenianie zredukowanej formy arsenu (As^{3+}) zależy od ilości czynników utleniających w glebie. Dodatek do gleby związków zawierających Fe^{3+} , powoduje przejście arsenu na wyższy stopień utlenienia. Również tlenki manganu są bardzo aktywnym komponentem środowiska naturalnego i bardzo efektywnym utleniaczem związków arsenu na +3 stopniu utlenienia. Utlenianie i redukcja arsenu w glebie jest również zależne od populacji mikroorganizmów. Na początku XX wieku Green wykazał, że szczepy *Bacillus arsenoxydans* utleniają arseniany (III) do arsenianów (V) w roztworze agaru, który zawierał 1% kwasu arsenowego (III). Natomiast na początku XXI wieku Zorbrist stwierdził, że beztlenowe mikroorganizmy *Sulfurospirillum barnesi* są zdolne do jednoczesnej redukcji tlenków żelaza Fe(III) i redukcji arsenu As (V) do As (III) (Frankenberger 2002).

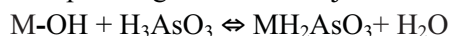
Arsen w glebie wykazuje silne powinowactwo do tlenków i wodorotlenków żelaza, glinu i manganu (głównie form słabokrystalicznych). Jest silnie wiązany przez frakcje koloidalną tworząc powierzchniowe kompleksy podobne do fosforanów, natomiast jest w mniejszym stopniu wiązany przez substancję organiczną oraz związki wapnia (głównie węglany) obecne w glebie. Zaobserwowano natomiast, że kwasy humusowe pełnią rolę dość silnego reduktora w reakcjach utleniania i redukcji arsenu (Nriagu 1994a).

Siła wiązania arsenu przez różne składniki gleby jest ściśle uzależniona od koncentracji tego pierwiastka oraz ilości w glebie składników wykazujących duże powinowactwo do arsenu. Stwierdzono, że w glebach charakteryzujących się dużą zawartością frakcji piasku (1-0,1 mm) ilość arsenu jest mniejsza niż w glebach, w których udział frakcji koloidalnej (< 0,002 mm) jest większy (Nriagu 1994a). Na siłę wiązania związków arsenu w glebie ma także rodzaj minerałów stanowiących frakcję koloidalną. Zauważono, że chloryt i haloizyt wiąże większe ilości arsenu od kaolinitu czy illitu. Kaolinit sorbuje więcej arsenu z roztworu glebowego od wermikulitu, który z kolei wiąże więcej arsenu od montmorylonitu (Lin i Puls 2000, Goldberg 2002).

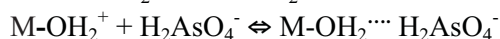
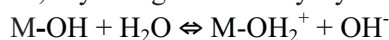
Arsen wiązany z tlenkami i wodorotlenkami żelaza jest formą dominującą w glebie, a następnie arsen wiązany z tlenkami (wodorotlenkami) glinu, manganu i wapnia. Wiązanie arsenu(V) odbywa się według następującego schematu:



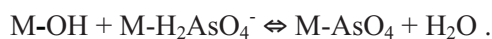
Natomiast proces adsorpcji As(III) na powierzchni wspomnianych wodorotlenków przebiega nieco inaczej:



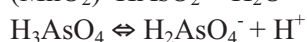
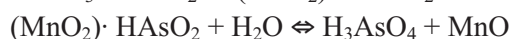
Ilość wiązanego arsenu przez tlenki żelaza, glinu i manganu zależy także od odczynu gleby. Adsorpcja arsenu (V) na tlenkach żelaza i manganu spada dopiero powyżej $\text{pH} > 8$, natomiast arsenu (III) jest stała w zakresie pH od 2 do 11. Adsorpcja arsenu (III) na tlenku glinu wykazuje maksimum od pH 7 do 9, natomiast arsenu (V) gwałtownie spada przy $\text{pH} > 9$ (Goldberg 2002). Z uwagi na największe powinowactwo nieorganicznych form arsenu do tlenków żelaza stwierdzono, że obecność tych związków limituje ruchliwość arsenu w glebie. Jest to szczególnie wyraźne w poziomach wzbogacenia gleb brunatnoziemnych, gdzie wraz z kumulacją żelaza obserwujemy wzrost ilości zatrzymanego arsenu. W poziomie tym dominuje wówczas arsen na +5 stopniu utlenienia. Sorpcja arsenu zależy także od stosunków ilościowych i proporcji obecnych w glebie tlenków żelaza, glinu, manganu i wapnia. Stwierdzono, że ilość As (III) i As (V) sorbowanych przez MnO_2 z domieszką tlenków glinu i żelaza wyraźnie wzrasta, podczas gdy ilość adsorbowanych związków arsenu na MnO_2 z domieszką węglany wapnia spada (Lin i Puls 2003, Goldberg 2002). Sorpcji nieorganicznych związków arsenu na powierzchni tlenków żelaza, czy manganu towarzyszy także proces utleniania As (III) do As (V):



lub



Utlenianie As(III) do As (V) na powierzchni MnO_2 zachodzi następująco:



Minerały zawierające glin, żelazo, mangan i wapń, tworzą często z arsenem nierozpuszczalne związki niedostępne dla roślin (Nriagu 1994a).

Obecne w glebach aniony, a szczególnie fosforany mogą skutecznie konkurować z arsenem w szybkości adsorpcji na powierzchni tlenków glinu i żelaza. Ilość adsorbowanych w glebach fosforanów jest większa od arsenianów. Fosforany są wiązane głównie przez koloidy glebowe oraz uwodnione tlenki żelaza i glinu, podczas gdy arseniany w większości przez tlenki żelaza. Wynika to przede wszystkim z różnych wielkości obu anionów, oraz w różnicy gęstości ładunku

elektrycznego. Jony fosforanowe o mniejszym promieniu jonowym i większej gęstości ładunku elektrycznego są w stanie dotrzeć do większej ilości aktywnych miejsc adsorpcyjnych na powierzchni tlenków przez co znacząco ograniczają adsorpcje arsenu w glebach. Konsekwencją większego powinowactwa fosforanów do koloidów glebowych oraz uwodnionych tlenków żelaza i glinu może być w glebach bogatych w fosfor wzrost ilości arsenu w formach łatwo rozpuszczalnych. Inne badane aniony obecne w glebach nie konkurują z arsenianami tak silnie jak jony fosforu. Powinowactwo anionów do tlenków żelaza i glinu maleje według następującego porządku:

dla As (V): $\text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{H}_2\text{AsO}_4^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$

i dla As(III): $\text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{H}_3\text{AsO}_3 > \text{F}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ (Nriagu 1994a, Goldberg 2002, Smith i in. 2002).

Wysoka zawartość arsenu w glebie może być toksyczna dla roślin. Należy jednak pamiętać, że gleby o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych, przy tej samej zawartości ogólnej arsenu, są w różnym stopniu toksyczne dla roślin. Decydującą rolę przy określaniu poziomu fitotoksyczności środowiska glebowego dla roślin mają oprócz jej podatności na stres arsenowy, zawartość i formy żelaza, glinu, substancji organicznej, fosforu i pH. W glebach charakteryzujących się małą zawartością tlenków żelaza i glinu, arsen występuje w formie łatwo rozpuszczalnej, bardziej toksycznej dla roślin. Z kolei w glebach o podobnej zawartości arsenu ogólnego, a bogatych w tlenki żelaza i gliny, forma arsenu łatwo rozpuszczalnego stanowi niewielki margines puli ogólnej, a formy arsenu związanego z tlenkami żelaza i gliny z reguły nie są dostępne dla roślin. Istnieje jednak także prosta zależność między zawartością ogólną tego pierwiastka, a wzrostem i plonami roślin. Rosnąca zawartość arsenu hamuje rozwój roślin i redukuje plony. Przy całkowitej zawartości arsenu na poziomie $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, gdzie As dostępny dla roślin stanowi $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, spadek plonów może wynieść nawet 50%. Ograniczenie toksycznego działania arsenu w glebach polega m.in. na okresowym zmniejszeniu jego mobilności przez zmianę warunków redukcyjnych na oksydacyjne oraz dzięki wiązaniu przez dodatek siarczanu żelaza(II), siarki, węglanu wapnia i nawozów fosforowych (Wenzel i in. 2001).

Z kolei użyźnianie gleb często skutkowało wzrostem zawartości form rozpuszczalnych arsenu, co przekładało się także na wzrost zawartości tego pierwiastka w roślinach rosnących na tym obszarze. Stwierdzono, że po zastosowaniu nawozów fosforowych na polu obsianym kukurydzą wzrósł poziom arsenu w liściach kukurydzy, w stosunku do obszaru gdzie nie zastosowano użyźniania fosforowego. Zastosowanie nawozów fosforowych nie skutkowało natomiast

wzrostem zawartości arsenu w nasionach kukurydzy. Z przeprowadzonych badań wynika, że ilość arsenu w formie rozpuszczalnej (potencjalnie bardziej toksycznej dla roślin) uwolnionej po zastosowaniu użyźniania fosforanowego zależy od ilości zaaplikowanych fosforanów i typu gleby. Arsen w glebach charakteryzujących się dominującą zawartością frakcji piasku, po zastosowaniu nawożenia fosforem jest, łatwiej uwalniany do roztworu glebowego, w stosunku do gleb o wyższej zawartości frakcji pyłowej i sypawianej. Ważną rolę w przemianie arsenu do form rozpuszczalnych odgrywa także rodzaj i koncentracja tlenków metali w glebie oraz stała rozpuszczalności obecnych w roztworze glebowym związków arsenu. Rozpuszczalność arsenianów obecnych w glebie układa się według następującego porządku: $\text{Na}_3\text{AsO}_4 > \text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 > \text{AlAsO}_4 > \text{FeAsO}_4$ (Nriagu 1994a).

Arseniany sodu czy wapnia charakteryzujące się lepszą rozpuszczalnością od arsenianów glinu i żelaza, są łatwiej dostępne dla roślin, bardziej mobilne i łatwiejsze do usunięcia poprzez zaaplikowanie nawozów fosforowych. Stwierdzono, że w glebie ługowanej roztworem KH_2PO_4 malała koncentracja arsenianu glinu, a wzrastała arsenianu żelaza. Okazało się także, że gleba zawierająca związki arsenu po ługowaniu roztworem KH_2PO_4 jest mniej fitotoksyczna. Fitotoksyczność związków arsenu w glebie spada w następującym porządku:

formy rozpuszczalne w wodzie > arsenian wapnia > arsenian glinu > arsenian żelaza.

Należy dodać, że całkowita zawartość arsenu nie stanowi pełnego odzwierciedlenia koncentracji form dostępnych dla roślin, ale stanowi bardzo ważny wskaźnik oceny jakości środowiska.

2. FIZJOGRAFIA TERENU BADAŃ

2.1. Położenie geograficzne

Lublin jest największym polskim miastem położonym po wschodniej stronie Wisły, które zamieszkuje 355 tys. (stan z 31.12.2003 r.), przy tym należy do grona dziesięciu największych polskich miast. Zajmuje powierzchnię 147,5 km², co daje mu 16 miejsce w kraju. Jest stolicą województwa lubelskiego i siedzibą powiatu grodzkiego.

Miasto w obecnych granicach administracyjnych rozciąga się między 51°08', a 51°18'N oraz 21°27' a 21°41'E. Rozpiętość południkowa miasta wynosi 17,7 km, a równoleżnikowa 15,5 km (Gołofit i in. 1999).

W klasyfikacji dziesiętej fizyczno-geograficznego podziału Europy Lublin należy do prowincji Wyżyny Polskie, podprowincji Wyżyna Lubelsko-Lwowska i makroregionu Wyżyna Lubelska oraz mezoregionów: Płaskowyżu Nałęczowskiego, Równiny Bełżyckiej, Płaskowyżu Świdnickiego, Wyniosłości Giełczewskiej (Kondracki 1994).

2.2. Budowa geologiczna

Lublin i jego okolice położone są w obrębie paleozoicznego rowu mazowiecko – lubelskiego – jednostki tektonicznej Polski Środkowowschodniej (Żelichowski 1974). Jest to struktura wchodząca w skład peryferyjnej części prebajkalskiej platformy europejskiej. Rów mazowiecko – lubelski, utworzył się w fazie bretońskiej, a ostatecznie został ukształtowany w fazie asturyjskiej megacyklu waryscyjskiego (Pożaryski 1974).

Pokrywa mezo-kenozoiczna Lublina i okolic pocięta jest gęstą siecią dyslokacji nieciągłych. Do najważniejszych należy wiązka uskoków o kierunku SW-NE przebiegających wzdłuż doliny Bystrzycy. Druga wiązka, o kierunku SW-NE na północny-zachód od Lublina wyznacza bieg Ciemiegi i granicę zwartego zasięgu młodszego paleogenu. Przez obszar położony na południowy-wschód od Lublina przebiega strefa tektoniczna o kierunku NW-SE, na której rozwinęło się obniżenie Świdnika Dużego. Strefa ta wyznacza zarazem granicę między rozległym płatem paleocenu na południu i mozaikową budową terenu położonego na północ, zarazem granicę krajobrazów Wyniosłości Giełczewskiej i Płaskowyżu Świdnickiego. Wzdłuż doliny Czerniejówki i górnego odcinka Bystrzycy prawdopodobnie przebiegają uskoki południkowe o dużej randze. Na terenie samego Lublina, w rejonie zmiany kierunku Bystrzycy, krzyżują się liczne, różnokierunkowe uskoki

tworząc węzeł tektoniczny. Osobliwością tektoniczną jest rozciągający się na północny wschód od miasta rów tektoniczny Sobianowic o głębokości przeszło 60 m, który wypełniony jest utworami czwartorzędowymi. W rozwoju tektoniki rejonu Lublina zaznacza się wielofazowość (Harasimiuk i Henkiel 1982).

Najważniejszym elementem budowy geologicznej rejonu Lublina jest pokrywa lessowa o miąższości dochodzącej do dwudziestu kilku metrów, która wykształciła się w stadiale górnym zlodowacenia północnopolskiego. Less osadzał się z krótkimi przerwami przez cały okres pleniglacjału. Zgodnie z kierunkiem wiatrów lessotwórczych ukształtowała się krawędź lessowa, a Bystrzyca spychana była pod prawe zbocze środkowego odcinaka doliny (Harasimiuk i Henkiel 1982). To dzięki lessom podatnym na procesy erozji wietrznej oraz wodnej wymodelowany został swoisty krajobraz miejski Lublina (Gołofit i in. 1999).

2.3. Rzeźba terenu

Lublin jest miastem charakteryzującym się urozmaiconą rzeźbą terenu i dużym zróżnicowaniem pod względem hipsometrycznym. Najwyższy punkt znajduje się w rejonie Domu Opieki Społecznej na Węglinie, a jego wysokość wynosi 233,7 m n.p.m., najniższy zaś o wartości 162,5 m n.p.m. położony jest w dolinie Bystrzycy. Zróżnicowane ukształtowanie powierzchni Lublina spowodowane jest to tym, że miasto położone jest w obrębie czterech mezoregionów: Płaskowyżu Nałęczowskiego, Równiny Bełżyckiej, Płaskowyżu Świdnickiego, Wzniosłości Giełczewskiej (Kondracki 1994). Dolina Bystrzycy, założona w strefie uskoku Bystrzycy, stanowi granicę morfologiczną, dzielącą teren miasta na dwie odrębne części, należące do Płaskowyżu Nałęczowskiego i Równiny Bełżyckiej na zachód od doliny Bystrzycy oraz Płaskowyżu Świdnickiego i wzniosłości Giełczewskiej na wschód (Maruszczak 1972). Najbardziej urozmaiconą pod względem rzeźby jest zachodnia część miasta, uwarunkowana występowaniem miększej pokrywy lessowej. W dolinie Bystrzycy wyróżniamy stromą krawędź lessową o wysokości około 10 m. Następnie teren wznosi się do wysokości 233 m n.p.m. tworząc falistą równię lessową, urozmaiconą licznymi wąwozami i suchymi dolinami, wyścielonymi pylastymi deluwiami. U ujścia tych dolinek występują stożki napływowe, słabo zaznaczone w terenie. Deniwelację terenu wynoszą od 50 m do 60 m, a więc są znacznie wyższe, niż we wschodniej części miasta (Maruszczak i Uziak 1978, Harasimiuk i Henkiel 1982). Przez Lublin przepływają trzy rzeki: wspomniana wyżej Bystrzyca, jej prawy dopływ Czarniejówka i lewy Czechówka. Rzeki te są małe i płytkie, nawet największa z nich Bystrzyca nie ma znaczenia komunikacyjnego. Natomiast doliny rzeczne są dość rozległe i w morfologii Lublina stanowią element pierwszorzędnej wagi (Wilgat i Wilgat 1954).

Należy podkreślić, że rzeźba Lublina jest silnie przekształcona antropogenicznie. Większość obszaru zajmuje zabudowa i infrastruktura aglomeracji lubelskiej, zacierająca granice pomiędzy formami ukształtowania powierzchni.

2.4. Warunki klimatyczne

Romer w swojej pracy pt. „Regiony klimatyczne Polski” zalicza Lublin do dzielnicy Chełmsko-Podlaskiej (Gołofit i in. 1999). Natomiast Zinkiewiczowie umiejscawiają Lublin w obrębie dzielnicy Lubelsko-Chełmskiej, która charakteryzuje się znacznymi rocznymi sumami opadów (500-600 mm), wysoką liczbą dni z opadami gradowymi (10-18 dzień rok⁻¹) i najwyższymi wartościami usłonecznienia względnego w okresie letnim (40-50%) (Zinkiewicz i Zinkiewicz 1973).

Warunki klimatyczne zależą od napływu różnego pochodzenia mas powietrza i ich transformacji. Nad Lublinem obserwowana jest wyraźna przewaga mas polarnomorskich i polarno-kontynentalnych (Pm i Pk). Stanowią one 90,5% wszystkich mas powietrza pojawiających się w ciągu roku. Na drugim miejscu znajdują się masy powietrza arktycznego (Pa), których średnia częstość występowania wynosi 7,3%, natomiast udział mas powietrza zwrotnikowego (Pz) osiąga średnio na rok jedynie 2,2%. Częstość występowania poszczególnych układów barycznych w dużym stopniu warunkuje zmiany w przebiegu rocznym ciśnienia atmosferycznego na analizowanym obszarze. Na zmienność warunków pogodowych największy wpływ mają fronty atmosferyczne, rozdzielające masy powietrza. Średnio w roku nad Lublinem notuje się 134 fronty, co oznacza, że co trzeci dzień jest dniem z frontem. Najwięcej dni frontowych występuje w grudniu i listopadzie po 14 i 12, najmniej takich dni notuje się w sierpniu i czerwcu średnio po 10 (Zinkiewicz i Zinkiewicz 1973).

Średnia roczna temperatura powietrza na poziomie rzeczywistym w Lublinie w okresie 1951-1990 wynosiła od 7,0 do 7,9°C, najcieplejszym miesiącem roku jest lipiec (18,6°C), najzimniejszym – styczeń (-3,6°C) (Kaszewski i Mrugała 2001).

Średnia roczna wilgotność względna w latach 1951-1980 w Lublinie wynosiła 78,6%. Najwilgotniejsza porą roku jest zima, a najsuchszą lato; jesień jest wilgotniejsza od wiosny (Badach i in. 1985).

Stopień zachmurzenia nieba w Lublinie w latach 1951-1980 wyniósł 6,2. W przebiegu rocznym miesiące styczeń-listopad są najbardziej zachmurzone; natomiast najbardziej pogodnymi jest sierpień i wrzesień. Nad Lublinem przeważają chmury średnie kłębiaste (altocumulus) i warstwowo-kłębiaste (stratocumulus) (Badach i in. 1985).

Suma roczna opadów w Lublinie wynosi 566 mm. Przeważająca część opadów występuje w okresie letnim (czerwiec-sierpień) i wynosi 218 mm. W porze wiosennej (marzec-maj) i jesiennej (wrzesień-listopad) suma opadów wynosi odpowiednio 124 i 126 mm. Najmniejsze opady występują w zimie (grudzień-luty) i wynoszą 97 mm.

Miesiącem najbardziej obfitym w opady jest lipiec (77 mm), a najuboższym styczeń (30 mm). Opady w poszczególnych porach roku różnią się intensywnością i okresem trwania. Opady zimowe i jesienne są najczęściej długotrwałe, opady letnie są krótsze, ale bardziej intensywne. Opadom letnim często towarzyszą burze, które na obszarze Lublina występują średnio 25-30 razy w roku (Gołofit i in. 1999, Kaszewski i Mrugała 2001).

W Lublinie występuje przewaga wiatrów słabych i bardzo słabych. Około 80% przypadków stanowią wiatry o prędkościach mniejszych niż $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na obszarze Lublina największą częstość występowania w skali roku ma wiatr z kwadrantu zachodniego, w szczególności z oktanu południowo-zachodniego i zachodniego. Najmniejszą zaś z kwadrantu wschodniego i północnego (Gołofit i in. 1999).

2.5. Stosunki wodne

Lublin położony jest w obrębie dorzecza Bystrzycy, rzeki będącej lewym dopływem Wieprza. Teren ten charakteryzuje się najrzadszą siecią wód powierzchniowych w Polsce (Chałubińska 1956). W tym ubogim w wodę obszarze położenie Lublina jest dość wyjątkowe; miasto rozbudowało się nad trzema rzekami: Bystrzycą i jej dwoma dopływami Cechówką i Czerniejówką (Wilgat 1980b).

Rzeki Lublina prowadzą mało wody, co jest konsekwencją niskich opadów atmosferycznych oraz małej powierzchni zlewni. Średni przepływ Bystrzycy w Lublinie wynosi około $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średnie przepływy Czerniejówki i Cechówki oszacowano odpowiednio na około $0,67$ i $0,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Sezonowy rytm odpływu jest charakterystyczny dla rzek o zasilaniu śnieżno deszczowym. Rzeka Bystrzyca charakteryzuje się dużym udziałem zasilania podziemnego w odpływie rzeczny. Niskie przepływy wody występują latem i jesienią. Przepływy najwyższe mają charakter wezbraniowy i przypadają na okres wiosenny. Na wielkość i rozkład odpływu rzek Lublina istotny wpływ wywiera jednak gospodarka wodna; zrzuty ścieków i wód deszczowych oraz Zalew Zemborzycki (Michalczyk 1997).

Zalew Zemborzycki powstały w dolinie Bystrzycy powyżej Lublina utworzony został w roku 1973 dla celów rekreacyjnych i przeciwpowodziowych. Ma on powierzchnię 278 ha, wysokość spiętrzenia 4 m i przy średniej głębokości około 2 m gromadzi $6,3 \text{ mln m}^3$ wody. W warunkach powodziowych może zatrzymać dalsze $1,4 \text{ miliona m}^3$ wody przy zwiększeniu powierzchni o 4 ha (Harasimiuk i Henkiel 1982). Nie bez znaczenia jest również zasilanie wodami Zalewu warstwy wodonośnej miejskich ujęć wody Prawiedniki i Wrotków. Poza Zbiornikiem Zemborzyckim w rejonie Lublina znajduje się kilka małych zbiorników wodnych o niewielkim znaczeniu dla gospodarki wodnej:

- zbiornik w Ogrodzie Botanicznym o powierzchni 1,24 ha i pojemności ok. 12 tys. m³ zasilane wodami rzeki Czechówki i spływami powierzchniowymi podczas opadów, oraz z ujęcia wód podziemnych,
- stawy rybne w Głusku o powierzchni 8,4 ha i pojemności ok. 90 tys. m³ zasilane z rzeki Czerniejówki,
- stawy rybne w Prawiednikach o powierzchni 0,4 ha i pojemności ok. 5 tys. m³, zasilane wodami rzeki Bystrzycy,
- stawy rybne w Woli Sławińskiej o powierzchni 1,65 ha i pojemności ok. 19 tys. m³, wykonane poprzez przegrodzenie rzeki Czechówki.

Lublin i okolice leżą pod względem hydrogeologicznym w obrębie Regionu Lubelskiego, obejmującego centralny basen kredowy (Paczyński 1980) Specyficzne cechy stosunków wodnych okolic Lublina zależą w dużej mierze od budowy geologicznej i rzeźby terenu. W całym obszarze podłoże stanowią skały węglanowe górnej kredy i paleocenu, które są głównym zbiornikiem wód podziemnych. Urozmaicona rzeźba sprzyja intensywnemu spływowi wód opadowych i roztopowych, a charakter utworów powierzchniowych zwiększonemu parowaniu. Przenikanie wody w głąb odbywa się głównie w okresie tajania śniegu i długotrwałych opadów deszczu. Woda wnika-jąca w grunt przekazywana jest do podłoża skał węglanowych, tylko na niewielkich obszarach spotyka się lokalne poziomy wodne w piaskach pod lessami (Wilgat 1980b).

Odmierna sytuacja panuje w dolinach rzecznych. Zostały one wycięte w podłożu podczwartorzędowym jeszcze przed plejstocenem, a w okresie zlodowaceń wypełnione osadami wodnymi. Współcześnie ich dna położone są kilkadziesiąt metrów poniżej poziomów powierzchniowych. Zwierciadło wodne występuje na głębokości od kilku do ponad 50 m, często pod napięciem (Wilgat 1980b, Michalczyk 1997).

Dzięki silnemu spękaniu skał węglanowych ruch wody odbywa się łatwo i wody podziemne szybko się wymieniają. Ich cechą charakterystyczną jest duża twardość ze znaczną zawartością żelaza (Michalczyk 1997).

Wody podziemne Lublina tworzą jeden zbiornik hydraulicznie powiązany. Wody krążące w spękanych skałach węglanowych mają zwierciadło swobodne, nachylające się ku dolinom rzecznych i zasilające aluwia dolinne. Wody występujące ponad tym zwierciadłem mają w okolicy miasta tylko lokalne znaczenie. Wody naporowe występują w dolinach pod nieprzepuszczalnymi osadami czwartorzędowymi (Wilgat 1980a, Michalczyk 1997).

2.6. Szata roślinna

Zieleń we współczesnych aglomeracjach jest niezwykle ważnym elementem, ponieważ oczyszcza powietrze, poprawia warunki klimatyczne jak i również wpływa na estetykę miasta.

Lublin i okolice zaliczane są do państwa: Holarktyka, obszaru Eurosyberyjskiego, prowincji Środkowoeuropejskiej, działu – Bałtyckiego, poddziału – Pasa Wyżyn Środkowych, krainy Wyżyny Lubelskiej, okręgu Lubelskiego, oraz podokręgów – Płaskowyżu Nałęczowskiego, Płaskowyżu Świdnickiego, Wyniosłości Giełczewskiej i Równiny Bełżeckiej (Fijałkowski 1996).

Podstawowym elementem terenów zielonych w Lublinie jak i w innych dużych miastach są trawniki. Zajmują one ponad połowę powierzchni zieleni. Pełnią w środowisku miejskim wiele ważnych funkcji, a mianowicie: kształtują mikroklimat, przechwytyją zanieczyszczenia (pyły, metale ciężkie), wpływają na estetykę miasta i przyczyniają się do tłumienia hałasu. Inną zaletą trawników jest zdolność do hamowania prędkości wiatru (nawet do 10%). Ponadto trawniki zmniejszają powierzchnię będącą źródłem kurzu i hamują jego przenoszenie (Gołofit i in. 1999).

Zieleń Lublina dzieli się na dwie grupy: zieleń normowaną i nienormowaną. Do pierwszej zalicza się parki, skwery, zieleńce, cmentarze, ogrody działkowe, zieleń zakładową, osiedlową. Do drugiej zaś grupy: pola, łąki, pastwiska, lasy. Wskaźnik zieleni normowanej na mieszkańca Lublina wynosi ok. 28 m², co plasuje go pod koniec pierwszej dziesiątki miast liczących powyżej 100 tys. mieszkańców. W Lublinie zlokalizowanych jest 13 parków, ponad 50 skwerów i zieleńców, 11 cmentarzy, 45 ogródków działkowych. Bardzo ważnym dla miasta jest Ogród Saski, który powstał jako jeden z pierwszych publicznych ogrodów w Polsce, a zaprojektowany został przez Feliksa Buczyńskiego. Kolejnymi, równie ważnymi dla środowiska Lublina parkami są: Park Bronowice (pow. 2,6 ha), Park Węglin (pow. 3,5 ha), oraz Park Abramowice. Największą inwestycją Lublina w tereny zielone jest Park Ludowy (pow. 30,78 ha). Został on założony w latach 50-tych, na terenie łąk. Zniszczona melioracja i okresowe wahania poziomu wód gruntowych przyczyniły się do pogorszenia warunków bytowych roślin tam rosnących. Ostatnio podejmowane są próby rewitalizacji Parku Ludowego.

Duże znaczenie dla miasta ma zieleń osiedlowa, obejmująca zarówno trawniki, skwery, place zabaw, boiska sportowe jak i pasy zieleni przy traktach komunikacyjnych stanowiących granice osiedli i dzielnic. Najlepiej ukształtowana zieleń osiedlowa zlokalizowana jest w starszych dzielnicach miasta (Kalinowszczyzna, os. Mickiewicza LSM, Dziesiąta, Ponikwoda).

Częściowo na terenie administracyjnym Lublina znajduje się rezerwat przyrody „Stasin”, który powstał w 1981 roku na powierzchni 24,4 ha. W skład jego wchodzi lasy nadleśnictwa Świdnik i Zemborzyce. Został on utworzony w celu ochrony lasu liściastego z przeważającym udziałem brzozy czarnej (najcenniejsze stanowisko tego gatunku w regionie). W skład drzewostanu wchodzi również: brzoza brodawkow-

wata, lipa, grab, osika. Ponadto w runie rezerwatu znajduje się kilka chronionych gatunków m.in. wawrzynek wilczelyko, parzydło leśne, lilia złotogłów, podkolan biały, sromotnik bezwstydnny (Fijałkowski 1996, Gołofit i in. 1999).

2.7. Pokrywa glebowa

Obszar Lublina według klasyfikacji przyrodniczo-rolnej należy do regionu przyrodniczo-rolniczego obszarów wyżynnych (Turski i in. 1993).

Gleby w obszarze Lublina stanowią jeden z najcenniejszych komponentów środowiska przyrodniczego zarówno ze względu na ich wartość przyrodniczą i rolniczą jak i występowanie w dużych i zwartych kompleksach. Gleby występujące po lewej stronie Bystrzycy zaliczane są do klasy brunatnoziemnych (brunatne i płowe), wytworzonych z lessów (Maruszczak i Uziak 1978). Po prawej stronie doliny występują gleby wytworzone z piasków pyłowych i z pyłów piaszczystych. W dolinach rzek występują mady, czarne ziemie i rzadziej gleby torfowe. Najbardziej zróżnicowana jest północno-wschodnia część miasta, gdzie przeważają gleby semihydrogeniczne, hydrogeniczne i napływowe, a wśród nich czarne ziemie, gleby murszowate i mułowo-torfowe oraz mady. W południowo-wschodniej części Lublina występują rędziny i pararędziny wykształcone z margli i z opok mastrychtu oraz z gez paleocenu, a na drobnych fragmentach zwydmionych piasków akumulacji rzecznej – gleby bielcowe (Gołofit i in. 1999).

Gleby Lublina występujące po lewej stronie rzeki Bystrzycy zaliczane są do całkowitych, ich poziom próchniczny jest dobrze wykształcony, zaś odczyn obojętny lub słabo kwaśny. Wśród nich przeważają gleby II i III klasy ze znacznym udziałem klasy I. Są to gleby pszenne i żytnie bardzo dobre. Niekorzystną cechą gleb lessowych jest ich duża podatność na erozję (Turski i in. 1993). Gleby występujące po prawej stronie Bystrzycy zalicza się często do niecałkowitych. Wytworzone są z pyłów, piasków i glin. Mogą być podścielone piaskami gliniastymi i zwietrzeliną opoki kredowej. Podścielone gliną mają właściwości zbliżone do gleb lessowych całkowitych. Gleby podścielone piaskami i zwietrzalymi utworami kredowymi należą do klasy III b gruntów ornych (Gołofit i in. 1999).

Słabsze gleby, które powstały na bazie piasków gliniastych lekkich i słabo gliniastych zaliczane pod względem bonitacyjnym do klasy od IV do VI, na obszarze miasta spotykane są w rejonie Zadębia, Wrotkowa, Hajdowa i Wrześniowa. Doliny rzeczne obfitują w gleby mułowe, torfowe, torfy silnie zamulone i rozłożone oraz namuły silnie organiczne. W dolinach lubelskich rzek występują mady o zróżnico-

wanej granulometrii. W obniżeniach bezodpływowych i fragmentach dolin rzecznych występują jeszcze gleby glejowe, gleby murszowe i czarne ziemie (Gołofit i in. 1999).

Obszary miejskie charakteryzują się znaczną różnorodnością form zagospodarowania przestrzeni. Występują tu: tereny zabudowane, przeznaczone pod komunikację, lasy, parki, zieleńce, użytki rolne, nieużytki i wody. W wyniku świadomych i nieświadomych działań człowieka na obszarze miast, oddziaływania zabudowy przemysłowej i komunalnej oraz przemysłu skutkowały powstaniem industro- i urbanoziemów. W Lublinie szczególną rolę odgrywają także uwarunkowania historyczne, gdzie naturalne pokłady glebowe zostały przekształcone w wyniku zabudowy, zniszczeń wojennych, poprzez przemieszanie mas zimnych i nasypów gruzowych, oddziaływań przemysłowych i komunikacyjnych. Do najczęściej spotykanych gleb industro- i urbanoziemów w Lublinie zaliczamy gleby antropogeniczne o niewykształconym profilu. Są to gleby powstające współczesne, nie wykazujące morfologicznie poziomów genetycznych. Tworzą się one z materiału mineralnego nasypów, wyrobisk, zwałowisk, skarp itp. W Lublinie, w miejscach gdzie występuje nagromadzenie gruzu i pyłu wapiennego, występują także pararendziny antropogeniczne. Gleby te występują na obszarach, które powstały po wojnie na miejscu wyburzonych dzielnic. Spośród gleb antropogenicznych w Lublinie obecne są także gleby antropogeniczne próchniczne, zlokalizowane zwykle na terenie ogródków działkowych (Konecka-Betley i in. 1984, Gołofit i in. 1999, Baran i in. 2003).

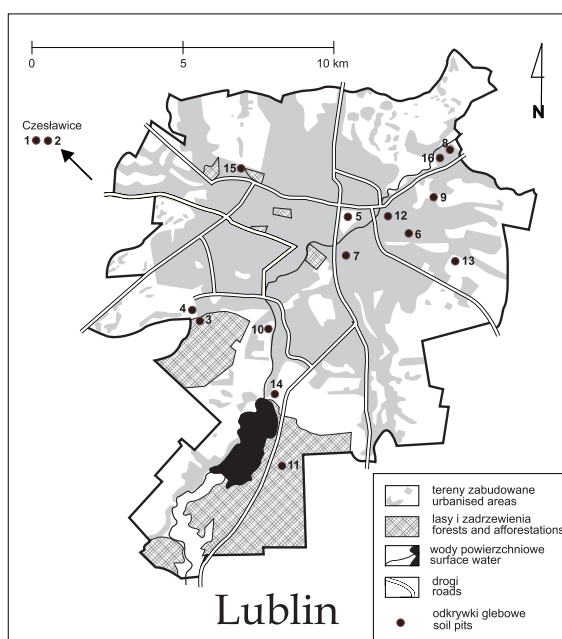
3. ZAKRES I METODY BADAŃ

3.1. Badania terenowe

Ogół prac przygotowawczych polegał na przestudiowaniu literatury opisującej poszczególne elementy środowiska geograficznego Lublina, jak również analizie materiałów kartograficznych dotyczących obszaru badań. Została sporządzona mapa pomocnicza i szkic sytuacyjny. Dokładną lokalizację profili w terenie wyznaczono przy użyciu GPS.

Odkrywki glebowe zostały zlokalizowane na terenie miasta Lublina (rys. 3). Materiał do badań reprezentuje zróżnicowane użytkowanie i różne typy gleb. Przy wyborze punktów badawczych uwzględniono także bezpośrednie sąsiedztwo zakładów przemysłowych będących potencjalnym źródłem zanieczyszczenia.

Materiał glebowy w ilości 16 profili pobrano w roku 2002. Zawiera on 14 profili zlokalizowanych w granicach administracyjnych Lublina, oraz dwa profile porównawcze pobrane poza Lublinem, w Czesławicach koło Nałęczowa. Stanowi to łącznie 109 prób glebowych reprezentujących poszczególne poziomy genetyczne i warstwy badanych profili. Lokalizacja odkrywek została wyznaczona w systemie GPS, a pobrany materiał glebowy po sfotografowaniu został opisany zgodnie z Systematyką Gleb Polski (Systematyka Gleb Polski 1989).



Rys. 3. Lokalizacja punktów badawczych

Fig. 3. Location of research points

3.2. Badania laboratoryjne

Oznaczanie zawartości arsenu w próbkach środowiskowych wymaga spełnienia szeregu warunków, aby uzyskane wyniki były wiarygodne.

Tabela 3. Główne źródła błędów na różnych etapach procedury analitycznej (Namieśnik i in. 1995)
Table 3. Main errors sources on different stages of analytic procedure (Namieśnik *et al.* 1995)

ródła błędów Error sources	Etapy prac terenowych i laboratoryjnych Stages of terrain and laboratory work			
	Pobieranie, rozdrabnianie i przechowywanie próbki Samples collecting, crushing and keeping	Mieralizacja, ekstrakcja Mineralization, extraction	Pomiar, kalibracja Measurement, calibration	
1	2	3	4	5
Kontaminacja: sprzęt do poboru prób, materiały naczyń, odczynniki, atmosfera, analityk Contamination: sample collecting equipment, vessels materials, reagents, atmosphere, analyst	+++	+++	++	+
Straty prób: • adsorpcja: – na powierzchni naczyń podczas przechowywania próbki – w trakcie operacji analitycznych • odparowywanie lotnych składników • straty w wyniku rozcieńczeń Sample losses: • adsorption - on the surface of vessels during sample keeping, during analytical operations – evaporating of volatiles – losses in the result of diluting	--	-	---	-
	-	---	-	--

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

1	2	3	4	5
Reakcje chemiczne:				
• zmiana stopnia utlenienia	+	++	+++	+
• tworzenie związków kompleksowych	lub	lub	lub	lub
• wytrącanie i współstrącanie	–	--	--	–
• readsorpcja				
Chemical reactions:				
• change of the degree of oxidation				
• complex compounds creation				
• precipitation and coprecipitation				
• readsorption				
Interferencje				
– między składnikami śladowymi	+ lub or	++ lub or	+++ lub or	+ lub or
– z matrycą (nakładanie się sygnałów, tło)	–	--	---	---
Interferences				
– between trace components				
– with the matrix (signals overlapping, background)				
Błędne pomiary, niewłaściwa kalibracja				
– niewłaściwe bądź niestabilne wzorce				+++ lub or
– błędna ekstrapolacja				---
Invalid measurement, improper calibration				
– improper or non-stable patterns				
– invalid extrapolation				

(+++), (---) – znaczący udział jako źródło błędów, significant share as a source of errors,
(++), (--) – średnio znaczący udział jako źródło błędów, mean share as a source of errors,
(+), (–) – mało znaczący udział jako źródło błędów, insignificant share as a source of errors.

Prawidłowe określenie zawartości badanej substancji w materiale glebowym jest możliwe jedynie przy zachowaniu właściwego postępowania w trakcie całego toku analitycznego, poczynając od etapu właściwego wyboru punktów badawczych, poprzez pobrania próbek, rozdrobnienia, ujednorodnienia, mineralizacji aż do ostatecznego pomiaru stężenia badanego pierwiastka. Niewłaściwe wykonanie tych czynności jest powodem istotnych błędów w wynikach badań (tab. 3).

Metody badań arsenu w glebie można podzielić na część terenową i laboratoryjną. Badania terenowe stanowią jedno z najważniejszych ogniw poznania gleby, pokazują budowę profilu, niektóre właściwości oraz umożliwiają pobranie próbek do analizy cech fizycznych, chemicznych i biologicznych gleb w laboratorium.

Przed przystąpieniem do analiz laboratoryjnych z próbek glebowe usunięto korzenie, a następnie wysuszono w temperaturze pokojowej do stanu „powietrznie suchego”. Materiał glebowy został rozdrobniony następnie przesiany przez nylonowe sito o średnicy oczek 1 mm. Wydzielono części szkieletowe >1 mm. Część materiału glebowego <1 mm została rozdrobniona i zhomogenizowana w młyńce agatowym.

W materiale glebowym oznaczono:

- skład granulometryczny gleb metoda Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande oraz Prószyńskiego, frakcje piasku oddzielono na sicie o \varnothing oczek 0,1 mm.
- wodę higroskopową metodą suszarkową w temp. 105°C,
- substancję organiczną metodą żarzenia w temp. 550°C,
- pH, elektrometrycznie w wodzie i 1 mol·dm⁻³ KCl,
- węgiel organiczny metodą Tiurina,
- kationy wymienne oznaczono w ekstrakcie 0,5 mol·dm⁻³ chlorku amonu dla próbek węglanowych i w ekstrakcie 1 mol·dm⁻³ chlorku amonu dla próbek glebowych bezwęglanowych,
- wodór wymienny poprzez potencjometryczne miareczkowanie w ekstrakcie 1 mol·dm⁻³ octanie wapnia,
- węglany burzące metodą Scheibler'a,
- żelazo (Fe-*t*), mangan (Mn-*t*) i glin (Al-*t*) ogólny po mineralizacji gleby wodą królewską,
- formy ditionitowe żelaza (Fe-*d*), manganu (Mn-*d*) i glinu (Al-*d*) w ekstrakcie cytrynianowym z dodatkiem ditionitu (Mehr i Jackson 1960),
- formy szczawianowe żelaza (Fe-*o*), manganu (Mn-*o*) i glinu (Al-*o*) w ekstrakcie buforu szczawianowego, metoda Tamma w modyfikacji Schwertmann'a (Schwertmann 1964),
- formy pirofosforanowe żelaza (Fe-*p*), manganu (Mn-*p*) i glinu (Al-*p*) w ekstrakcie pirofosforanu sodu (McKeague 1967).

Kationy wymienne (K, Na, Ca, Mg) oraz wszystkie formy żelaza, glinu i manganu oznaczono metodą AAS:

- zawartość ogólna arsenu (As-*t*) metodą HGAAS, po mineralizacji gleby wodą królewską;
- analiza specyacyjna arsenu oparta na sekwencyjnej ekstrakcji form pierwiastka charakteryzujących się różną dostępnością i ruchliwością (As-*roz*, As-*wym*, As-*am*, As-*kr*, As-*rez*) (Wenzel i in. 2001);
- chemiczna analiza specyacyjna arsenu oparta na wydzieleniu As^{3+} i As^{5+} (Chappell i in. 1994, Shraim i in. 1999).

Właściwy dobór metody mineralizacji próby zależy przede wszystkim od rodzaju badanych gleb oraz właściwości oznaczanych pierwiastków. W przypadku oznaczania arsenu należało zwrócić szczególną uwagę na możliwość wystąpienia znacznych strat tego pierwiastka, podczas przeprowadzania próbki gleby do roztworu. (Domkröger i in. 1997). Użycie do mineralizacji kwasów HF i HClO₄, czy HF, HNO₃ i HClO₄ w układzie otwartym, zapewniających całkowity rozkład analizowanego materiału, nie może być zastosowane do oznaczaniu arsenu. Eksperymentalne prace pokazują, że podczas ogrzewania roztworów soli różnych pierwiastków z kwasem fluorowodorowym i nadchlorowym, straty boru, krzemu i arsenu sięgały 100%, na skutek tworzenia lotnych fluorków (Frankenberger 2002). Zastosowanie do mineralizacji gleb wody królewskiej pozwala na przeprowadzenie do roztworu zawartości zbliżonej do całkowitej. Mimo, że minerały glino-krzemianowe nie ulegają pełnemu rozтворzeniu, to większość mikroelementów zostaje wyługowanych, szczególnie z minerałów ilastych i mik (Chen, Ma 2001). Równoległe z badanymi próbami glebowymi przeprowadzono także mineralizację wodą królewską materiału referencyjnego. Sprawdzono dzięki temu poprawność prowadzonej mineralizacji i odzysk arsenu zostały sprawdzone w analizie glebowego materiału referencyjnego.

Procedura rozтворzenia materiału glebowego wodą królewską oparta jest na metodzie ISO 11466/2002. Odważono 1,5 g powietrznie suchej gleby rozտartej w młynku agatowym i przesianej przez sito ($\varnothing < 0,1$ mm). Następnie próbkę zwilżono wodą redestylowaną, zalano 15 cm³ wody królewskiej i odstawiono na 16 godzin w temperaturze pokojowej. Gilza reakcyjna została zamknięta chłódnicą zwrotną. Kolejny etap rozтворzania materiału glebowego to ogrzewanie próbki w bloku grzejnym przez dwie godziny w temperaturze 130°C. Po ostudzeniu do temperatury pokojowej ekstrakt przesączo do kolbek o pojemności 50 cm³. W dalszej kolejności próbki przemywano na sączku 5 mol·dm⁻³ HNO₃. Po przesączeniu i przemyciu próbek, kolbki 50 cm³ uzupełniono do kreski 5 mol·dm⁻³ HNO₃, następnie ich zawartość

przelano do polietylenowych pojemników. Oznaczeń arsenu dokonano metodą generacji wodorków na spektrometrze AAS 3300 Perkin Elmer z przystawką FIAS 400.

Ruchliwość, a także toksyczność arsenu w glebie zależy nie tylko od formy chemicznej tego pierwiastka, ale także od sposobu wiązania go przez poszczególne składniki gleby. Ma to niezwykle istotne znaczenie w badaniu zanieczyszczenia gleb, w których mimo chwilowego unieruchomienia arsen może stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska. Znane są przypadki, że w pewnych sprzyjających warunkach nastąpiło uwolnienie go do wód gruntowych, wnikięcie do łańcucha troficznego ekosystemu i w konsekwencji ponowne uruchomienie arsenu w środowisku.

W funkcjonalnej analizie specjacyjnej arsenu opartej na sekwencyjnej ekstrakcji przeprowadza się kilka kolejnych ekstraktacji różnymi odczynnikami, w taki sposób, aby każdy kolejny roztwór działał na pozostałość próbki z poprzedniej ekstrakcji. Ostatnim etapem postępowania jest całkowite zmineralizowanie pozostałego osadu. Ekstrakcja sekwencyjna w funkcjonalnej analizie specjacyjnej arsenu pozwala na ilościowe określenie zawartości badanego pierwiastka w poszczególnych frakcjach gleby (Rodriguez i in. 2003). Użyty do analizy odczynnik ekstrahujący powinien cechować się wysoką selektywnością ekstrakcyjną. Dodatkowo stosowany ekstrahent nie powinien zakłócać równowagi gleba-roztwór glebowy, a tym samym nie powinien wpływać na zmianę pH gleby, tworzyć kompleksów, ani też brać udziału w zachodzących wymianach jonowych. Należy także brać pod uwagę, że gleba jest utworem bardzo złożonym, w którym występują minerały o różnym stopniu rozdrobnienia i stopniu krystalizacji oraz związki amorficzne, różniące się między sobą zróżnicowaną rozpuszczalnością. Stwarza to niebezpieczeństwo, że w czasie ekstrakcji interesujących nas połączeń może następować destrukcja innego połączenia, co w konsekwencji prowadzi o podwyższenia wyniku końcowego (Melke 1997).

Dla metali występujących w glebach w charakterze kationów problematyka dotycząca analizy specjacyjnej została szeroko opisana (Tessier i in. 1979, Zeien i Brümmer 1989, Arunachalam i in. 1996, Ma, Rao 1997).

W przypadku pierwiastków występujących w glebie w charakterze anionów, do których należy także arsen, opracowań dotyczących analizy specjacyjnej jest znacznie mniej. Podczas funkcjonalnej analizy specjacyjnej arsenu badany jest udział poszczególnych grup związków o różnej rozpuszczalności i dostępności dla roślin oraz różnej podatności na migrację w glebie. W tym celu wykorzystywany jest proces ekstrakcji sekwencyjnej, podczas którego przeprowadza się kilka kolejnych ekstraktacji różnymi odczynnikami, w taki sposób, że każdym z kolejnych roztworów działa się na pozostałość próbki po poprzedniej ekstrakcji. Ostatnim etapem takiego postępowania jest na ogół całkowite roztworzenie pozostałego osadu. Ekstrakcja sekwencyjna arsenu pozwala na określenie ilości badanego pierwiastka związanego

z poszczególnymi frakcjami gleby. Przeprowadzona funkcjonalna analiza specjacyjna została oparta na pięcioetapowej sekwencyjnej ekstrakcji związków arsenu z gleby, do której wytypowano 11 profili glebowych (Wenzel i in. 2001). Reprezentują one różne typy gleb Lublina i ich zróżnicowane użytkowanie. Przy wyborze profili glebowych do funkcjonalnej analizy specjacyjnej uwzględniono także bezpośrednie sąsiedztwo zakładów przemysłowych będących potencjalnym źródłem zanieczyszczenia arsenem. Zastosowana metoda sekwencyjnej ekstrakcji arsenu jest modyfikacją kilku wcześniejszych metod (Chang i Jackson 1957, Zeien i Brümmer 1989, Han i Banin 1995) uwzględniającą anionowy charakter występujących w glebie związków arsenu, podobieństwo właściwości chemicznych do fosforu i zróżnicowanie właściwości gleb poddawanych ekstrakcji.

W odróżnieniu do oryginalnej metody gdzie pozostałość została mineralizowana mieszaniną kwasu azotowego i 30% H_2O_2 , ostatni etap analizy przeprowadzono poprzez roztwarzanie wodą królewską. W wyniku przeprowadzenia sekwencyjnej ekstrakcji badanych gleb wyodrebniono następujące frakcje:

As-roz – frakcja łatwo rozpuszczalna – obejmująca związki arsenu niespecyficznie związane na powierzchni cząstek materii organicznej, uwodnionych tlenków i wodorotlenków oraz ilów. Ta forma należy do najbardziej mobilnej, może ulegać desorpcji na skutek zmian mocy jonowej roztworów ekstrakcyjnych kontaktujących się z glebą.

As-wym – frakcja wymienna – obejmująca związki arsenu specyficznie zaadsorbowane na powierzchni cząstek materii organicznej, uwodnionych tlenków i wodorotlenków oraz ilów, a także wbudowane w strukturę minerałów węglanowych, głównie kalcytu i dolomitu. Związki arsenu reprezentowane w formach wymiennych nie są silnie związane i mogą ulegać desorpcji na skutek zmiany pH lub mocy jonowej roztworów ekstrakcyjnych kontaktujących się z glebą.

As-am – frakcja związana z amorficznymi i słabo-krystalicznymi uwodnionymi tlenkami żelaza – obejmuje związki arsenu współstrącające się ze związkami żelaza.

As-kr – frakcja związana z krystalicznymi, uwodnionymi tlenkami żelaza, obejmuje związki arsenu współstrącające się ze związkami żelaza, a uruchamianymi w warunkach obniżonego potencjału utleniająco-redukującego.

As-rez – frakcja rezydualna – są to metale wbudowane w sieć krystaliczną najtrwalszych minerałów glebowych (glinokrzemiany, krzemiany), niedostępne w warunkach naturalnych (Wenzel i in. 2001).

Oznaczeń arsenu we wszystkich etapach sekwencyjnej ekstrakcji dokonano metodą generacji wodorków na spektrometrze AAS 3300 Perkin Elmer z przystawką FIAS 400.

Chemiczna analiza specjacyjna nabiera istotnego znaczenia w przypadku takich pierwiastków jak arsen, którego toksyczne właściwości w dużej mierze zależą od stopnia utlenienia i formy w jakiej występuje.

Tabela 4. Schemat analizy sekwencyjnej ekstrakcji arsenu w badanych glebach
Table 4. Arsenic sequence extraction analysis in soils investigated

Frakcja Fraction	Warunki ekstrakcji Extraction conditions	Stosunek gleba:roztwór Soil:solution ratio
As-roz formy arsenu nie-specyficznie związane ze składnikami gleby Forms of arsenic inspecifically connected with soil components	0,05 (mol·dm ⁻³) (NH ₄) ₂ SO ₄ , wytrząsanie 4 h, odwirowanie, dekantacja 0.05 (mol dm ⁻³) (NH ₄) ₂ SO ₄ , shaking for 4 h, centrifuging, decantation	1:25
As-wym formy arsenu specyficznie związane ze składnikami gleby Forms of arsenic specifically connected with soil components	0,05 (mol·dm ⁻³) (NH ₄)H ₂ PO ₄ , wytrząsanie 16 h, odwirowanie, dekantacja 0.05 (mol dm ⁻³) (NH ₄)H ₂ PO ₄ , shaking for 16 h, centrifuging, decantation	1:25
As-am formy arsenu związane z amorficznymi, uwodnionymi tlenkami Forms of arsenic connected with amorphous, hydrated oxides	0,2 (mol·dm ⁻³) bufor szczawianowy, pH 3,25; wytrząsanie 4 h w ciemności, odwirowanie, dekantacja, przemywanie buforem szczawianowym poprzez wytrząsanie w ciemności przez 10 min 0.2 (mol dm ⁻³) oxalate buffer, pH 3.25; shaking in darkness for 4 h, centrifuging, decantation, washing with oxalate buffer by shaking in darkness for 10 min	1:37,5
As-kr formy arsenu związane z krystalicznymi tlenkami Forms of arsenic connected with crystalline oxides	0,2 (mol·dm ⁻³) bufor szczawianowy + 0,1 (mol·dm ⁻³) kw. askorbinowy, pH = 3,25; w temp. 96°C, odwirowanie, dekantacja, przemywanie buforem szczawianowym poprzez wytrząsanie w ciemności przez 10 min 0.2 (mol dm ⁻³) oxalate buffer + 0.1 (mol dm ⁻³) ascorbic acid, pH 3.25; temperature 96°C, centrifuging, decantation, washing with oxalate buffer by shaking in darkness for 10 min	1:37,5
As-rez pozostałość Residue	Woda królewska, (16 h w temp. pokojowej + 2 h w temp. 130°C, pod chłodnicą zwrotną) Aqua regia, 16 h in normal temperature + 2 h in 130°C, under return cooler	1:50

Metody ekstrakcji tego pierwiastka z gleby muszą być skuteczne i jednocześnie minimalizować rozkład form arsenu obecnych w środowisku glebowym. Obecnie przy rozdzielaniu związków arsenu występujących na różnych stopniach utlenienia, oraz związanych połączeniami organicznymi wykorzystywane są najczęściej metody chromatograficzne (Burguera i in. 1997). Muszą one charakteryzować się dużą selektywnością, natomiast stosowane do badań specjacji chemicznej techniki detekcji powinny być bardzo czułe z uwagi na dużo niższe stężenia oznaczanych form arsenu w porównaniu do zawartości całkowitej. Niestety koszt takiej aparatury jest bardzo wysoki i mogą sobie na nią pozwolić tylko najbogatsze laboratoria.

Istnieje jednak możliwość skutecznej, selektywnej ekstrakcji nieorganicznych związków arsenu z gleby znajdujących się na różnych stopniach utlenienia (+3 i +5). Stwierdzono, że stężony kwas solny ($10 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) skutecznie ekstrahuje nieorganiczne związki As^{3+} i As^{5+} bez zaburzania równowagi utleniania i redukcji między nimi (Chappell i in. 1994). Natomiast różnice kinetyki reakcji tworzenia wodorków arsenu na +3 st. utlenienia w stosunku do arsenu na +5 st. utlenienia pozwoliły na selektywne oznaczenie jednej z form arsenu metodą generacji wodorków (Shraim i in. 1999). Okazało się także, że zastosowanie odpowiednich stężeń kwasu solnego, borowodoru sodu oraz innych reduktorów, pozwala na skuteczną i selektywną generację wodorku arsenu (+3) z ekstrahowanej gleby. Zawartość całkowitą arsenu oznaczono po uprzednim zredukowaniu obecnych w ekstrakcie form pierwiastka. Natomiast zawartość As^{5+} jest wynikiem różnicy między zawartością ogólną arsenu i formy arsenu na +3 stopniu utlenienia. Należy wspomnieć, że technika generacji wodorków, pozwalając na wyizolowanie oznaczanych pierwiastków od matrycy środowiskowej, często silnie interferującej i zniekształcającej wyniki oznaczeń, oferuje niskie granice wykrywalności, na poziomie dziesiątych części ppb. Pozwala to na bezpośrednie oznaczenia próbek środowiskowych.

Chemiczna analiza specjacyjna arsenu As^{3+} i As^{5+} w badanych glebach została przeprowadzona w oparciu o metodę Chappell'a, polegającą na ługowaniu gleb stężonym kwasem chlorowodorowym (Chappell i in. 1994). Przy wydzieleniu As^{3+} wykorzystano zróżnicowaną kinetykę reakcji tworzenia wodorków przez formy arsenu w oparciu o prace Sharim'a (Shraim i in. 1999). Analityczne rozróżnienia form (As^{3+} , As^{5+}) pierwiastka jest możliwe dzięki zróżnicowanej kinetyce reakcji tworzenia wodorków arsenu. Arsen na niższym stopniu utlenienia (+3) zdecydowanie łatwiej wchodzi w reakcję wodorem, w przeciwieństwie do As^{5+} , gdzie reakcja praktycznie nie zachodzi. Przy założeniu, że czynnik ekstrahujący arsen z gleby nie wpływa na zmianę stopnia utlenienia pierwiastka, As^{3+} można oznaczyć bezpośrednio z badanego wyciągu techniką generacji wodorków. Zawartość ogólną arsenu

w glebie oznaczono po uprzednim zredukowaniu obecnych w ekstrakcie form pierwiastka. Natomiast zawartość As^{5+} jest wynikiem różnicy między zawartością ogólną arsenu i As^{3+} . Oznaczenie sumy zawartości arsenu (+3 i +5) oraz As^{3+} z ekstraktu kwasu chlorowodorowego przeprowadzono na spektrometrze AAS 3300 z przystawką FIAS 400 Perkin Elmer, techniką generacji wodorków (Perkin-Elmer 1994).

Statystyczne opracowanie wyników badań (współczynniki korelacji, analiza wariancji) przygotowano w Zakładzie Statystyki UMCS. Wycień dokonano w oparciu o program STATISTICA 6.0 PL.

Tabela 5. Schemat analizy wydzielenie form As^{3+} i As^{5+} z badanych gleb

Table 5. Scheme of separating As^{3+} and As^{5+} forms from soils investigated

Schemat analizy Scheme of analysis	Warunki ekstrakcji Extraction conditions
1. Ekstrakcja arsenu z gleby Extraction of arsenic from soil	5 g gleby, 3-krotna ekstrakcja 20 ml $10 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl 5 g of soil, extracted 3 times with 20 ml $10 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl
2. Selekttywne oznaczenie As^{3+} z ekstraktu Selective determination of As^{3+} from the extract	$4\text{-}6 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl i $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaBH_4
3. Oznaczenie As^{3+} i As^{5+} : Determination of As^{3+} and As^{5+} :	5% KJ + 5% kwas askorbinowy + HCl (stęż.), 45 min w temp. pokojowej 5% KJ + 5% ascorbic acid + HCl (conc.), 45 min in normal temperature 10% HCl + 0,2 % NaBH_4 w 0,05% NaOH

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

4.1. Podstawowe właściwości gleb

Gleby Lublina charakteryzuje zmienność właściwości związana z różnymi rodzajami skał macierzystych oraz zróżnicowanym wpływem czynnika antropogenicznego. Spośród 16 analizowanych profili glebowych reprezentujących różne typy gleb Lublina w urbanoziemach zwraca uwagę obecność części szkieletowych (>1 mm) we wszystkich wydzielonych poziomach i warstwach (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16), stanowiąc od 1,1 do 40,9% (tab. 1 w załączniku). Profilowe rozmieszczenie zawartości części szkieletowych w tych glebach wykazuje z reguły nieuporządkowany rozkład. Podobną tendencją charakteryzuje się mada rzeczna próchniczna (profil nr 8). Gleby płowe wytworzone z lessu (profile nr 1, 2, 3, 4), czarna ziemia typowa (profil nr 9), gleba brunatno-rdzawa (profil nr 11) i gleba brunatna właściwa (profil nr 15) nie wykazują obecności części szkieletowych. Natomiast do gleb silnie szkieletowych należy pararendzina brunatna (profil nr 10) gdzie udział tej frakcji w poziomie Cca wynosi 59,1 %. W przypadku gleb płowych zwraca uwagę profil nr 13 charakteryzujący się dwudzielnością litologiczną (pod pyłem zwykłym zalega glina lekka pylasta i glina średnia pylasta) z dużą zawartością części szkieletowych w poziomach IIBt/C i IICca.

Profile gleb brunatnoziemnych (profile nr 1, 2, 3, 4, 15), w których skałą macierzystą jest less budują utwory pyłowe. Z pyłów tych wykształciły się zarówno gleby płowe (profile nr 1, 2, 3, 4) jak i gleba brunatna właściwa (profil nr 15). W glebach płowych wytworzonych z pyłu ilastego, bądź pyłu zwykłego wyraźnie zaznacza się proces lessiważu, w wyniku którego ukształtował się poziom iluwialny Bt charakteryzujący się koncentracją iłu koloidalnego (<0,002 mm) (tab. 1 w załączniku). Z pyłu ilastego wykształciła się także gleba brunatna właściwa. W omawianych glebach nie zaobserwowano spiaszczenia poziomów wierzchnich, tak charakterystyczne dla procesów urbanizacyjnych (Kukier 1985). W glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11) dominują utwory piaszczyste. Poziom A buduje piasek gliniasty lekki, natomiast pozostałe, głębsze poziomy BbrBv, C1 i C2 piasek słabo gliniasty i piaski luźne.

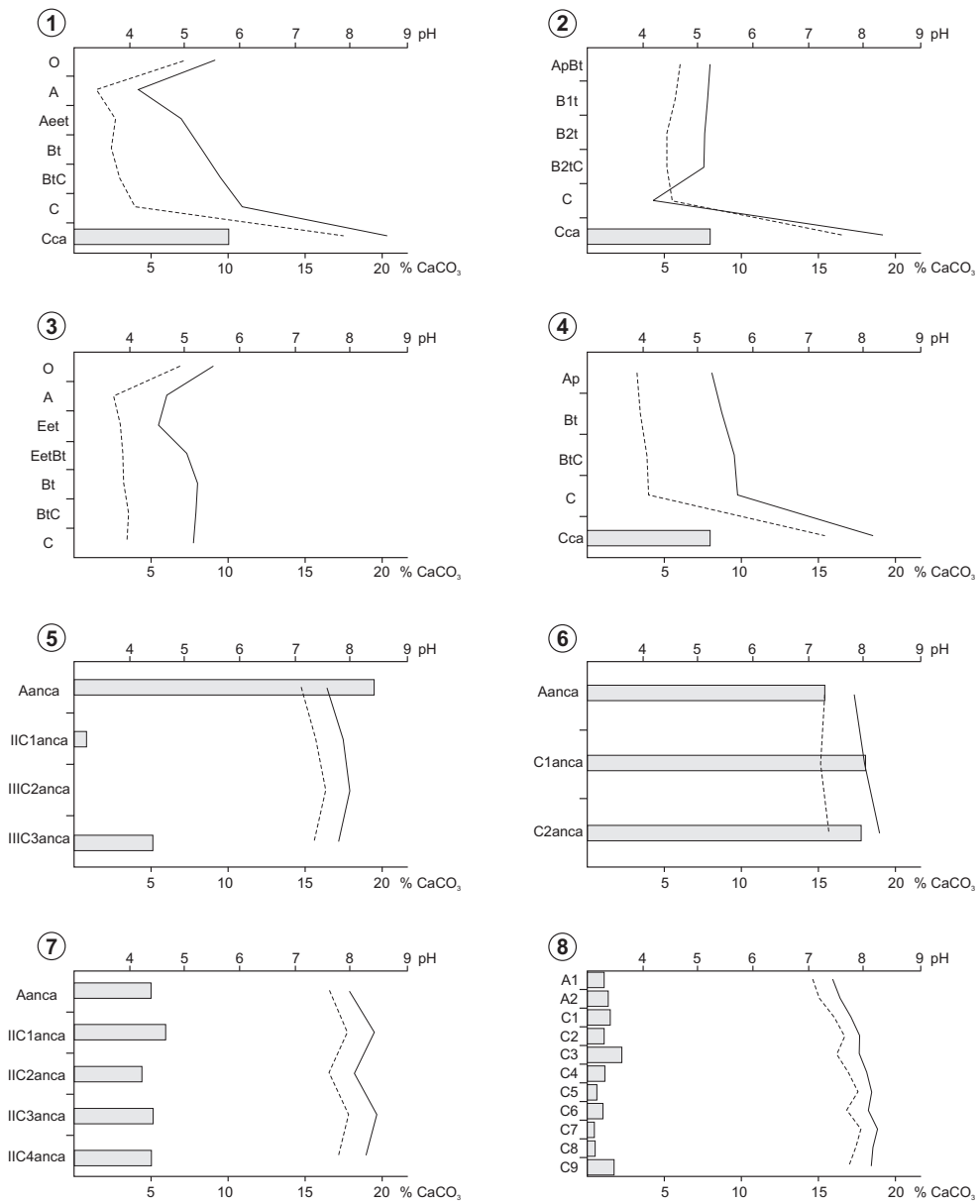
Analiza składu granulometrycznego gleb antropogenicznych Lublina (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16), reprezentowanych przez urbanoziemy, wykazuje duże zróżnicowanie (tab. 1 w załączniku). Profile nr 5, 6 i 14 reprezentujące pararendziny antropogeniczne charakteryzują się znaczącymi wahaniami udziału poszczególnych frakcji. Warstwa próchniczna Aanca profilu nr 5 została wytworzona z pyłu ilastego, w profilu nr 6 z gliny lekkiej silnie spiaszczonej, natomiast w profilu nr 14 z gliny średniej. Mniej zróżnicowany materiał buduje głębsze warstwy badanych profili. Są to gliny lekkie i średnie o różnym stopniu spiaszczenia, a także gliny średnie pylaste.

Profile nr 7, 12 i 16 reprezentujące glebę antropogeniczną o niewykształconym profilu wykazują zróżnicowanie udziału poszczególnych frakcji w wydzielonych warstwach. Uziarnienie warstwy Aanca w profilu 7 jest charakterystyczne dla gliny lekkiej silnie spiaszczonej pylastej, a w profilu 16 powierzchnią warstwę buduje glina lekka silnie spiaszczona. W obydwu profilach głębsze warstwy buduje piasek gliniasty mocny, a w warstwach IIC1anca, IIC2anca, IIC3anca, IIC4anca profilu 16 piasek gliniasty mocny pylasty. Wyjątkowo zróżnicowany materiał buduje profil 12. Warstwy A1anca i IIC2anca wykształcone są z pyłu zwykłego, natomiast warstwy IIAan i IIC1anca zbudowane są z piasku gliniastego mocnego, pylastego.

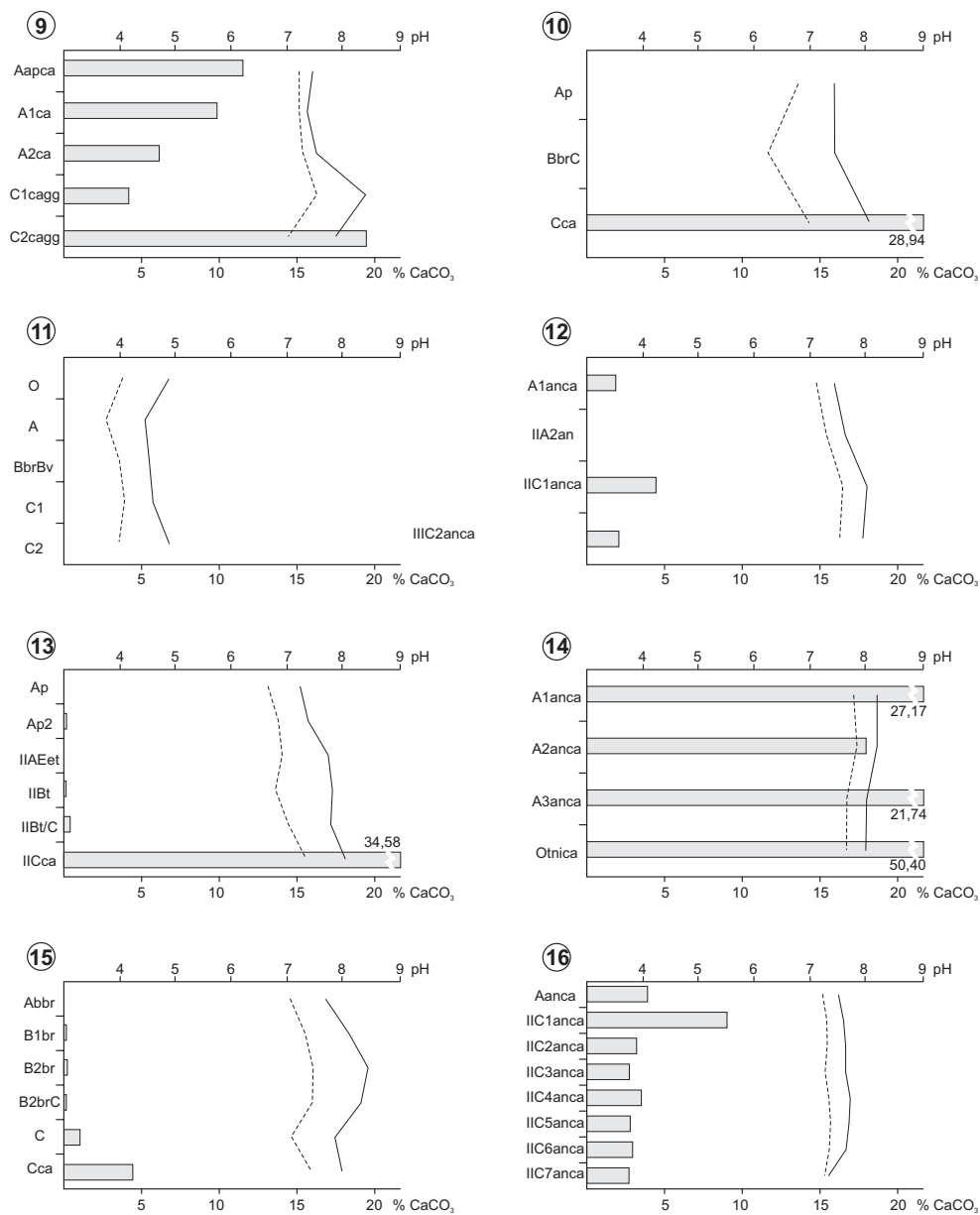
W profilu nr 9 czarnej ziemi typowej, skład granulometryczny wykazuje niewielkie zróżnicowanie (tab. 1 w załączniku). Poziomy A₁ca, A₁ca i A₂ca buduje glina lekka słabo spiaszczona, natomiast poziom C₁cagg jest zbudowany z gliny lekkiej silnie spiaszczonej pylastej. Profil nr 8, mada rzeczna próchniczna, budują aluwia rzeczne. Stwierdza się dominację utworów piaszczystych, przy znacznym udziale frakcji pylastej. Uziarnienie poziomów A₁ i A₂ to piasek gliniasty lekki pylasty. Pozostałe poziomy badanego profilu zbudowane są z piasku luźnego, jedynie w warstwach C₁ i C₃ wzrasta zawartość frakcji spławialnej powyżej 5%, przechodząc z piasku luźnego w piasek słabogliniasty. Gleby litogeniczne reprezentuje profil nr 10, pararendziny brunatnej. Uziarnienie poziomów A_p, B_{br}C i C_{ca} jest charakterystyczne odpowiednio dla gliny lekkiej słabo spiaszczonej, gliny ciężkiej pylastej i gliny średniej pylastej. W poziomie B_{br}C stwierdzono wyraźne nagromadzenie frakcji iłu koloidalnego (< 0,002 mm), które wynosi 42%.

Odczyn badanych gleb Lublina oznaczono w 1 mol·dm⁻³ KCl i wykazuje on duże zróżnicowanie. W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4) i w glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11), pH oscyluje od silnie kwaśnego i kwaśnego. Natomiast profil nr 13 (gleba płowa) charakteryzuje się odczynem obojętnym, a profil 15 (gleba brunatna właściwa) zasadowym. Wartość pH w tych glebach z reguły wzrasta wraz z głębokością (rys. 4, 5). Gleby antropogeniczne Lublina (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16), wykazują z reguły niewielkie zróżnicowanie, należą do gleb obojętnych i zasadowych, a wartość pH mieści się w granicach od 7,07 do 7,8. Wahania pH w obrębie profili nie wykazują wyraźnych prawidłowości (rys. 4, 5). Czarna ziemia typowa (profil nr 9) oraz mada rzeczna próchniczna (profil nr 8) charakteryzują się odczynem obojętnym i zasadowym o pH w granicach 7,02-7,95. W obrębie badanych profili nie zaobserwowano wyraźnych tendencji wzrostu lub spadku pH wraz z głębokością. Pararendzina brunatna (profil nr 10), wykazuje odczyn lekko kwaśny do obojętnego, pH od 6,22 do 6,75. Najniższe pH wykazuje poziom B_{br}C.

Procentową zawartość węglanów oznaczono w próbkach glebowych po przeprowadzeniu wstępnego testu (burzenie w 10% HCl) w całym zgromadzonym



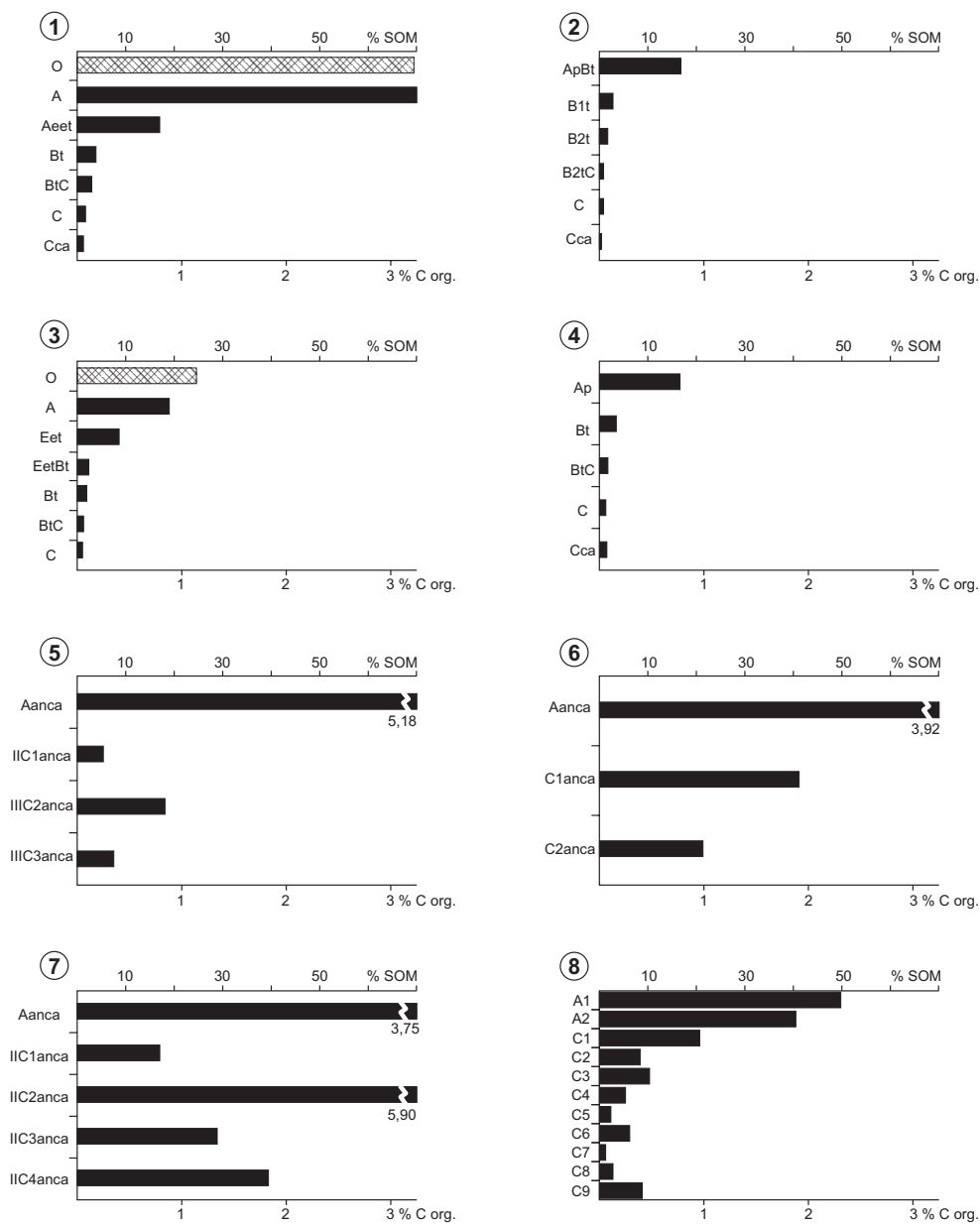
Rys. 4. Zróżnicowanie odczynu i zawartości węglanów w profilach 1-8
Fig. 4. Reaction and carbonates content variability in profiles 1-8



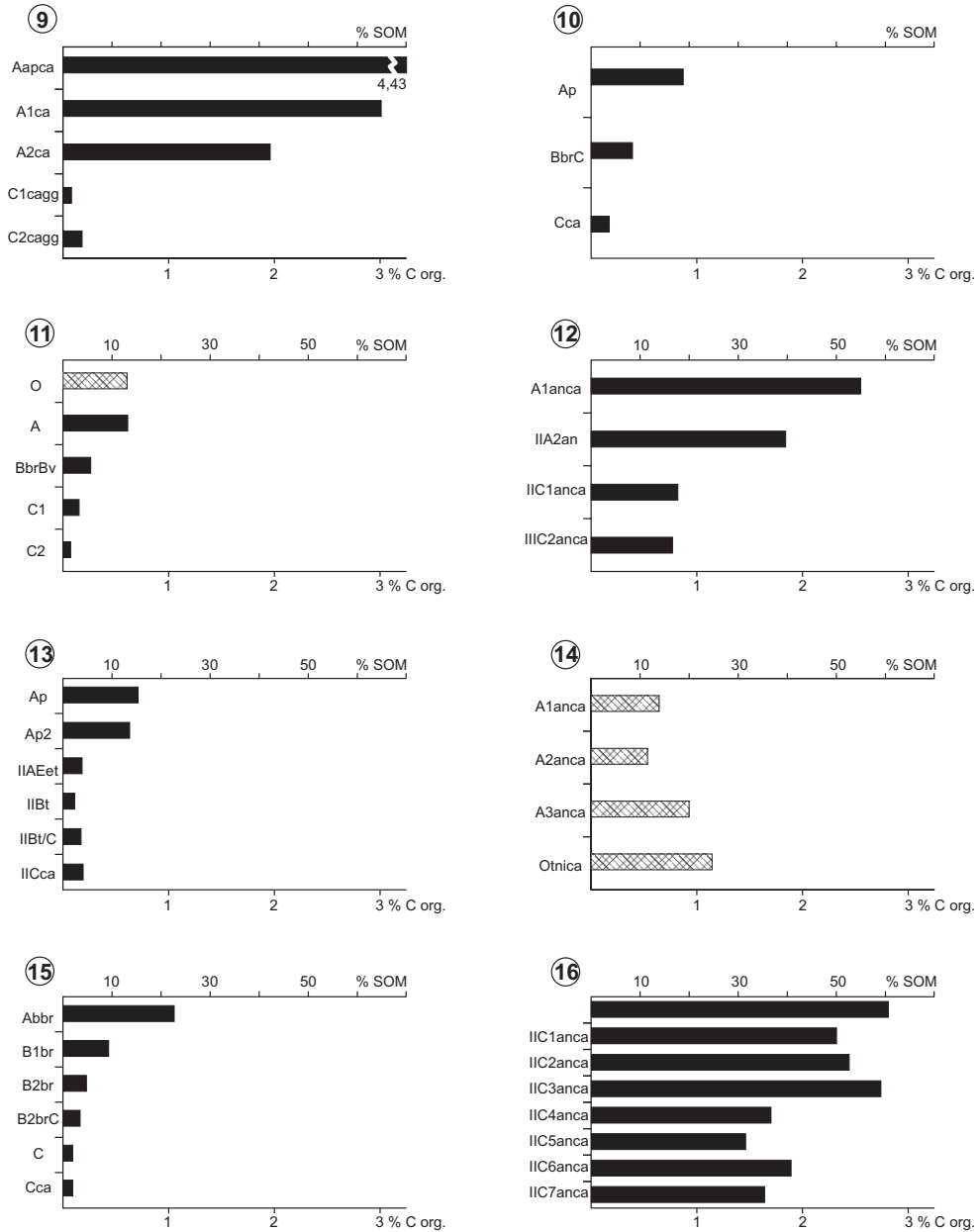
Rys. 5. Zróżnicowanie odczynu i zawartości węglanów w profilach 9-16
Fig. 5. Reaction and carbonates content variability in profiles 9-16

materiale glebowym. Stwierdzono, że zawartość CaCO_3 w badanych utworach jest zróżnicowana (rys. 4, 5). W glebach płowych (profile 1, 2, 3, 4, 13) węglan wapnia występuje przede wszystkim w poziomie skały macierzystej Cca i waha się od 4,32% do 34,58%. W pozostałych poziomach z reguły nie występuje, lub jego zawartość waha się w granicach dziesiątych części procenta. W glebie brunatnej właściwej (profil nr 15) węglan wapnia nie występuje jedynie w poziomie ABbr, w pozostałych poziomach jego zawartość rośnie wraz z głębokością osiągając maksimum w poziomie Cca (4,43 %). Największe nagromadzenie węglanu wapnia występuje w glebach antropogenicznych Lublina (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16). Ma to związek z ich pochodzeniem. W trakcie ich tworzenia wykorzystywano gruz budowlany, w którym znaczącym składnikiem jest węglan wapnia. Zawartość węglanu wapnia w urbanoziemach Lublina jest zróżnicowana i waha się od 0,81 do 50,4%. Wahania zawartości węglanu wapnia w obrębie badanych profili gleb antropogenicznych nie wykazują wyraźnych prawidłowości. W profilu (nr 9), czarna ziemia typowa, wytworzonym na skale kredowej, węglan wapnia jest obecny we wszystkich poziomach genetycznych. Największa zawartość węglanu wapnia (19,46%) występuje w poziomie C1cagg. W madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) zawartość węglanu wapnia waha się od 0,47 do 2,25%. W obrębie badanego profilu nie zaobserwowano wyraźnych tendencji wzrostu lub spadku zawartości węglanu wapnia wraz z głębokością. Obecność okruszków węglanu wapnia w tej glebie można tłumaczyć działalnością akumulacyjną Bystrzycy, która przepływa przez liczne wychodnie skał węglanowych, a jej koryto biegnie przy krawędzi Płaskowyżu Nałęczowskiego zbudowanego z lessu. Pararzędzina brunatna, profil nr 10, wykazują obecność węglanu wapnia (28,94%) w poziomie skały macierzystej Cca. Analiza zawartości węglanu wapnia w badanych glebach Lublina wskazuje, że profile pochodzenia antropogenicznego charakteryzują się jego największą zawartością.

W glebach mineralnych substancja organiczna skumulowana jest głównie w ekto-próchnicy (gleby leśne) oraz endopróchnicy (pozostałe gleby). W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4, 13), glebie brunatnej właściwej (profil nr 15) oraz glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11) najwyższa zawartość węgla organicznego występuje w poziomach powierzchniowych i wartości te z reguły maleją wraz z głębokością (rys. 6, 7). Podobny rozkład zawartości węgla organicznego charakteryzuje czarna ziemia typową (profil nr 9) oraz pararzędzinę brunatną (profil nr 10). W glebach antropogenicznych Lublina (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16) zawartość węgla organicznego charakteryzuje duże zróżnicowanie. Najzasobniejsza w próchnicę jest pararzędzina antropogeniczna (profil nr 14) zlokalizowana na terenie ogródków działkowych. Poziomy A1anca, A2anca i A3anca stanowi utwór mineralno-organiczny pochodzenia antropogenicznego o miąższości ponad 50 cm, natomiast głębiej zalega torf niski.



Rys. 6. Zmiany zawartości węgla organicznego w profilach 1-8
Fig. 6. Organic carbon content variability in profiles 1-8



Rys. 7. Zmiany zawartości węgla organicznego w profilach 9-16
Fig. 7. Organic carbon content variability in profiles 9-16

W pozostałych profilach urbanoziemów (profile nr 5, 6, 7, 12, 16) profilowe rozmieszczenie zawartości węgla organicznego w badanych warstwach nie wykazuje wyraźnych prawidłowości. W madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) najwyższą zawartością węgla organicznego charakteryzuje się poziom próchniczny A, natomiast w głębszych warstwach nie zaobserwowano wyraźnych tendencji wzrostu lub spadku zawartości węgla organicznego wraz z głębokością.

Z uwagi na zróżnicowanie gleb występujących w Lublinie pod względem rodzaju skały macierzystej, pochodzenia i użytkowania, kompleks sorpcyjny (S, T, V,) cechuje duża zmienność i szeroki zakres wartości (S od $0,12 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ do $103,98 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$, T od $1,73 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ do $105,05 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ i V od 0,89% do 99,68%) (tab. 2 w załączniku). Gleba brunatno-rdzawa (profil nr 11) charakteryzuje się najmniejszą pojemnością sorpcyjną wśród badanych gleb, natomiast największą pararendzina antropogeniczna (profil nr 14). Pojemność sorpcyjna (T) i suma kationów o charakterze zasadowym (S) gleb płowych (profile nr 1, 2, 3, 4) przyjmuje najwyższe wartości w poziomach O i A oraz Cca, poza profilem nr 13 gdzie pojemność sorpcyjna (T) i suma kationów o charakterze zasadowym (S) osiągają maksimum w poziomie IICca. Podobnie w glebie brunatnej właściwej (profil nr 15) wyraźnie zaznaczają się największe wartości pojemności sorpcyjnej i sumy kationów i charakterze zasadowym w poziomie Cca, natomiast w pozostałych poziomach te wartości przyjmują nieuporządkowany rozkład.

W glebach wytworzonych z lessów (profile nr 1, 2, 3, 4, 15) pierwiastkiem decydującym o sumie kationów w kompleksie sorpcyjnym jest Ca^{2+} . Jedynie w górnych poziomach gleby płowej w równorzędnej wielkości występuje H^+ wymienny. Stopień wysycenia kationami zasadowymi w pięciu badanych profilach gleb wytworzonych z lessu jest najwyższy w poziomie Cca. W urbanoziemach (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16) wartości opisujące kompleks sorpcyjny (S, T, V) cechuje duże zróżnicowanie. W glebach tych, zwykle zawierających znaczące ilości gruzu budowlanego, pierwiastkiem decydującym o sumie kationów w kompleksie sorpcyjnym jest wapń, natomiast wodór wymienny odgrywa w urbanoziemach Lublina niewielką rolę. Konsekwencją opisanych powyżej właściwości jest bardzo wysoki stopień wysycenia kationami zasadowymi. Równie wysoki stopień wysycenia kationami zasadowymi (V) charakteryzuje profil nr 9, czarnej ziemi typowej. W glebie tej, wytworzonej z gezów, pierwiastkiem decydującym o sumie kationów w kompleksie sorpcyjnym, a także o stopniu nasycenia jest Ca^{2+} . Madę rzeczną próchniczną (profil nr 8), cechuje duża zmienność pojemności sorpcyjnej (T), oraz sumy kationów zasadowych (S) w badanych warstwach profilu. Charakterystyczna jest także bardzo wysoka wartość stopnia wysycenia kationami zasadowymi, w którym dominującą rolę odgrywają dwa kationy; wapń i magnez. Aluwia niesione przez

Bystrzyce przepływającą przez liczne wychodnie skał wapiennych, której koryto biegnie na krawędzi Płaskowyżu Nałęczowskiego zawierają spore ilości węgla wapnia i magnezu. W pararendzinie brunatnej, profil nr 10, wartości pojemności sorpcyjnej (T) oraz sumy kationów zasadowych (S) rosną wraz z głębokością. Stopień wysycenia kationami zasadowymi (V) w całym profilu jest wysoki z największym udziałem kationów wapnia Ca^{2+} . Profil ten charakteryzuje się dużym nagromadzeniem odłamków skał węglanowych w poziomie Cca.

4.2. Zawartość całkowita żelaza, glinu i manganu oraz ich różne formy pedogeniczne

Wartości koncentracji badanych pierwiastków w glebach Lublina wahają się w szerokich granicach, Fe-*t* występuje w zakresie od $0,72 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $29,12 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, Al-*t* od $0,46 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $15,30 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, a Mn-*t* od $0,013 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $5,35 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 3 w załączniku). W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4, 13) rozmieszczenie zawartości żelaza ogólnego Fe-*t* i glinu ogólnego Al-*t* wykazuje duże podobieństwo. Wartości koncentracji obu pierwiastków ulegają obniżeniu wraz z głębokością, z widoczną tendencją kumulacji w poziomie Bt. Podobne tendencje wzrostu zawartości Fe-*t* i Al-*t* w poziomie Bbr można zaobserwować w glebie brunatnej właściwej (profil nr 15), w poziomie BbrBv w glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11). Nieco inaczej wygląda profilowy rozkład koncentracji Mn-*t* w omawianych glebach. Zawartość całkowita tego pierwiastka obniża się wraz z głębokością, jedynie w profilu nr 13 obserwowane jest sporadyczne gromadzenie pierwiastka w poziomie Bt. W glebach antropogenicznych Lublina (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16) zawartość ogólna Fe-*t*, Al-*t* i Mn-*t* charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem. Wartości koncentracji żelaza, glinu i manganu wykazują z reguły nieuporządkowany rozkład w wyodrębnionych warstwach. Jedynie w profilach nr 5 i 6 można zaobserwować nagromadzenie tych pierwiastków w poziomie próchnicznym A. W profilu (nr 9), czarnej ziemi typowej zawartość Fe-*t* i Mn-*t* obniża się wraz z głębokością, jedynie w najgłębszym wydzielonym poziomie C2cagg obserwowany jest niewielki wzrost koncentracji obu pierwiastków, natomiast zawartość Al-*t* z niewielkimi fluktuacjami rośnie wraz z głębokością. W madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) zaobserwowano kumulacje zawartości żelaza glinu i manganu w poziomie próchnicznym A i zaburzoną w niektórych warstwach, tendencję spadkową zawartości badanych pierwiastków wraz z głębokością. W pararendzinie brunatnej (profil nr 10) wartości koncentracji Fe-*t* i Mn-*t* ulegają obniżeniu wraz z głębokością, z widoczną tendencją akumulacji w poziomie BbrC, natomiast zawartość Al-*t* rośnie wraz z głębokością, po za poziomem BbrC, gdzie obserwowany jest wyraźny spadek koncentracji badanego pierwiastka w stosunku do pozostałych poziomów (tab. 3 w załączniku).

Formy ditionitowe, niezwiązane z siatką krystaliczną krzemianów struktury tlenków żelaza, glinu i manganu są ekstrahowane buforem cytrynianowym w obecności ditionitu jako reduktora (Mehr, Jackson 1960). Zawartość formy ditionitowej badanych pierwiastków w glebach Lublina wahają się w szerokich granicach, Fe-*d* występuje w zakresie od $0,31 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $25,33 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, Al-*d* od $0,06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $2,16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, a Mn-*t* od $0,01 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $3,88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 3 w załączniku). Warto zaznaczyć, że największa zawartości Mn-*t* występują w poziomach organicznych gleb leśnych, który stanowi ściółka. W pozostałych poziomach mineralnych i mineralno-organicznych badanych gleb Lublina zawartości formy ditionitowej manganu nie osiągają więcej niż $0,48 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartości form Fe-*d*, Al-*d* i Mn-*d* oraz ich procentowych udziałów w zawartości ogólnej, wykazują z reguły zmienność w pionowym rozmieszczeniu (tab. 3 w załączniku).

Analiza procentowej zawartości analizowanych form Fe-*d*, Al-*d* i Mn-*d* w koncentracji ogólnej tych pierwiastków wykazała największy udział Mn-*d* (średnio 73,44%), a najmniejszy glinu Al-*d* (średnio 23,68 %), natomiast średni udział Fe-*d* wynosi 45,76%. W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4, 13), glebie brunatnej właściwej (profil nr 15) oraz glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11), analizowane formy ditionitowe Fe-*d*, Al-*d* i Mn-*d* charakteryzują się zmiennym rozmieszczeniem w profilu. W przypadku form Fe-*d* i Al-*d* zarysowana jest tendencja zwiększonej zawartości w poziomach Bt, Bbr i BbrBv. Kumulację ditionitowego żelaza Fe-*d* i glinu Al-*d* w poziomie BbrC obserwujemy także w pararendzinie brunatnej (profil nr 10). Z kolei forma Mn-*d* w omawianych profilach charakteryzuje się największą koncentracją w poziomach powierzchniowych. W urbanoziemach Lublina (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16) zawartość Fe-*d*, Al-*d* i Mn-*d* charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem. Wartości koncentracji omawianej formy Fe-*d*, Al-*d* oraz Mn-*d* wykazują z reguły nieuporządkowany rozkład w wyodrębnionych warstwach gleb antropogenicznych z lekko zarysowaną tendencją spadku koncentracji omawianych pierwiastków wraz z głębokością. Z uwagi na warstwową budowę, podobny układ nieuporządkowanego rozkładu zawartości formy Fe-*d* i Al-*d* wykazuje mada rzeczna, próchniczna (profil nr 8). Jedynie zawartość ditionitowego manganu Mn-*d* spada wraz z głębokością. W profilu nr 9, czarnej ziemi typowej, zawartość analizowanej formy Fe-*d*, i Mn-*d* maleje wraz z głębokością, natomiast Al-*d* w badanym profilu wykazuje maksimum koncentracji w poziomie próchnicznym A2ca znajdującym się bezpośrednio nad poziomem skały macierzystej.

W skład form pedogenicznych żelaza wchodzi inne pochodne formy. Jedną z nich jest forma definiowana jako żelazo krystalicznego, której wartości można wyliczyć z różnicy zawartości form wolnych i amorficznej (omówionej poniżej) wymienionych pierwiastków ($\text{Fe-kr} = \text{Fe-d} - \text{Fe-o}$). Wśród związków żelaza zawartych w formie ditionitowej Fe-*d*, część występuje w postaci krystalicznej Fe-*kr*. We wszystkich analizowanych profilach glebowych zawartość Fe-*kr* kształtowała się od $0,058 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$

do $17,19 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 3 w załączniku). W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4, 13) i w glebie brunatnej właściwej (profil nr 15), analizowane formy żelaza wolnego krystalicznego *Fe-kr* charakteryzują się zmiennym rozmieszczeniem w profilu. Najmniejsze ilości formy żelaza wolnego krystalicznego *Fe-kr* stwierdzono z reguły w poziomach wierzchnich, natomiast w głąb profilów glebowych zawartość tej formy żelaza zwiększała się osiągając największe wartości w poziomach wzbogacenia lub poziomach skały macierzystej. W pozostałych glebach Lublina wartości koncentracji omawianej formy wolnego żelaza krystalicznego *Fe-kr* wykazują z reguły nieuporządkowany rozkład w wyodrębnionych poziomach.

Formy szczawianowe (tzw. słabo uporządkowane struktury tlenków żelaza, glinu i manganu oraz ich połączenia z substancją organiczną) są ekstrahowane w ciemności buforem szczawianowym (Schwertmann 1964). Zawartości form szczawianowych *Fe-o*, *Al-o* i *Mn-o* i ich procentowych udziałów w koncentracji ogólnej, wykazują profilową zmienność i różnorodność w pionowym rozmieszczeniu (tab. 4 w załączniku). Zawartość żelaza *Fe-o* w badanych profilach przyjmują wartości od $0,14$ do $19,37 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, manganu *Mn-o* od $0,01$ do $3,50 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, a glinu *Al-o* od $0,04$ do $2,27 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Analiza procentowej zawartości form szczawianowych *Fe-o*, *Al-o* i *Mn-o* w stosunku do formy ogólnej tych pierwiastków wykazała największy udział *Mn-o* (średnio $35,92\%$), pośredni *Fe-o* (średnio $23,15\%$), a najmniejszy *Al-o* (średnio $17,78\%$). W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4, 13), glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11), glebie brunatnej właściwej (profil nr 15) oraz pararendzynie brunatnej (profil nr 10), analizowane formy szczawianowe *Fe-o* i *Al-o* charakteryzują się zmiennym rozmieszczeniem w profilu z kumulacją w poziomach Bt, BbrBv, Bbr i BbrC. Forma szczawianowa *Mn-d* w omawianych profilach charakteryzuje się z reguły największą zawartością w poziomach powierzchniowych. W urbanizacjach Lublina (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16) zawartość *Fe-o*, *Al-o* i *Mn-o* charakteryzuje duże zróżnicowanie. Wartości koncentracji omawianej formy *Fe-o*, *Al-o* oraz *Mn-o* wykazują nieuporządkowany rozkład w wyodrębnionych warstwach gleb antropogenicznych. Z uwagi na warstwową budowę, podobną tendencję nieuporządkowanego rozkładu zawartości formy szczawianowej *Fe-o*, *Al-o* i *Mn-o* wykazuje mada rzeczna, próchniczna (profil nr 8). W czarnej ziemi typowej (profil nr 9) zawartość formy szczawianowej *Fe-o*, *Al-o* i *Mn-o* maleje wraz z głębokością.

Zawartości żelaza *Fe-p*, glinu *Al-p* i manganu *Mn-p* związanych z substancją organiczną oraz procentowe udziały form tych pierwiastków w formach ogólnych badanych gleb Lublina wahają się w szerokich granicach (tab. 4 w załączniku). Są ekstrahowane z gleby $0,1 \text{ M}$ roztworem pirofosforanu sodu (McKeague 1967). Najwyższe wartości przypadają na *Fe-p* i we wszystkich badanych profilach przyjmują wartości od $0,03$ do $1,31 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, a najniższe na *Mn-p* od $0,002$ do $1,03 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartość glinu przyjmuje z reguły wartości pośrednie, choć w niektórych warstwach gleb antropogenicznych (profil nr 6 i 7) forma glinu pirofosforanowego

Al-*p* nie występuje. W procentowym udziale form pirofosforanowych w formach ogólnych jeszcze wyraźniej zaznaczona jest pionowa różnorodność w wydzielonych poziomach i warstwach. Najwyższy udział przypada na Mn-*p* i wynosi średnio 16,62%, udział glinu Al-*p* zajmuje z reguły miejsce pośrednie i wynosi średnio 9,3% wykazując przy tym największe wahania, natomiast procentowy udział form pirofosforanowych Fe-*p* w formach ogólnych jest najmniejszy i wynosi średnio 7,37%. Ogólna tendencja rozmieszczenia w profilu form pirofosforanowych (Fe-*p*, Al-*p* i Mn-*p*) we wszystkich badanych glebach jest wspólna. Najwyższe wartości z reguły występują w poziomie A, a najniższe w poziomie C, podobnie jak rozmieszczenie całkowitej zawartości węgla organicznego C-*org*. Formy Fe-*p* i Al-*p* wykazują największą koncentrację w glebach brunatnoziemnych, z kolei w madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) zanotowano największą koncentrację manganu związanego z substancją organiczną Mn-*p*.

4.3. Zawartość ogólna arsenu oraz As³⁺ i As⁵⁺

Zawartość całkowita arsenu została oznaczona po ekstrakcji gleby wodą królewską metodą generacji wodorków. Metoda ta charakteryzuje się niską granicą wykrywalności na poziomie $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Poprawność procedury mineralizacji i oznaczenia została zweryfikowana poprzez użycie gleb referencyjnych (NIST-SRM 2709 San Joaquin Soil, CRM-7004) o znanym stężeniu badanego pierwiastka. Stwierdzono, że procentowy błąd względny w stosunku do zawartości certyfikowanej arsenu wynosi 4,8% i uzyskane wyniki mieszczą się w dopuszczalnych granicach poprawności procedury oznaczenia badanego pierwiastka.

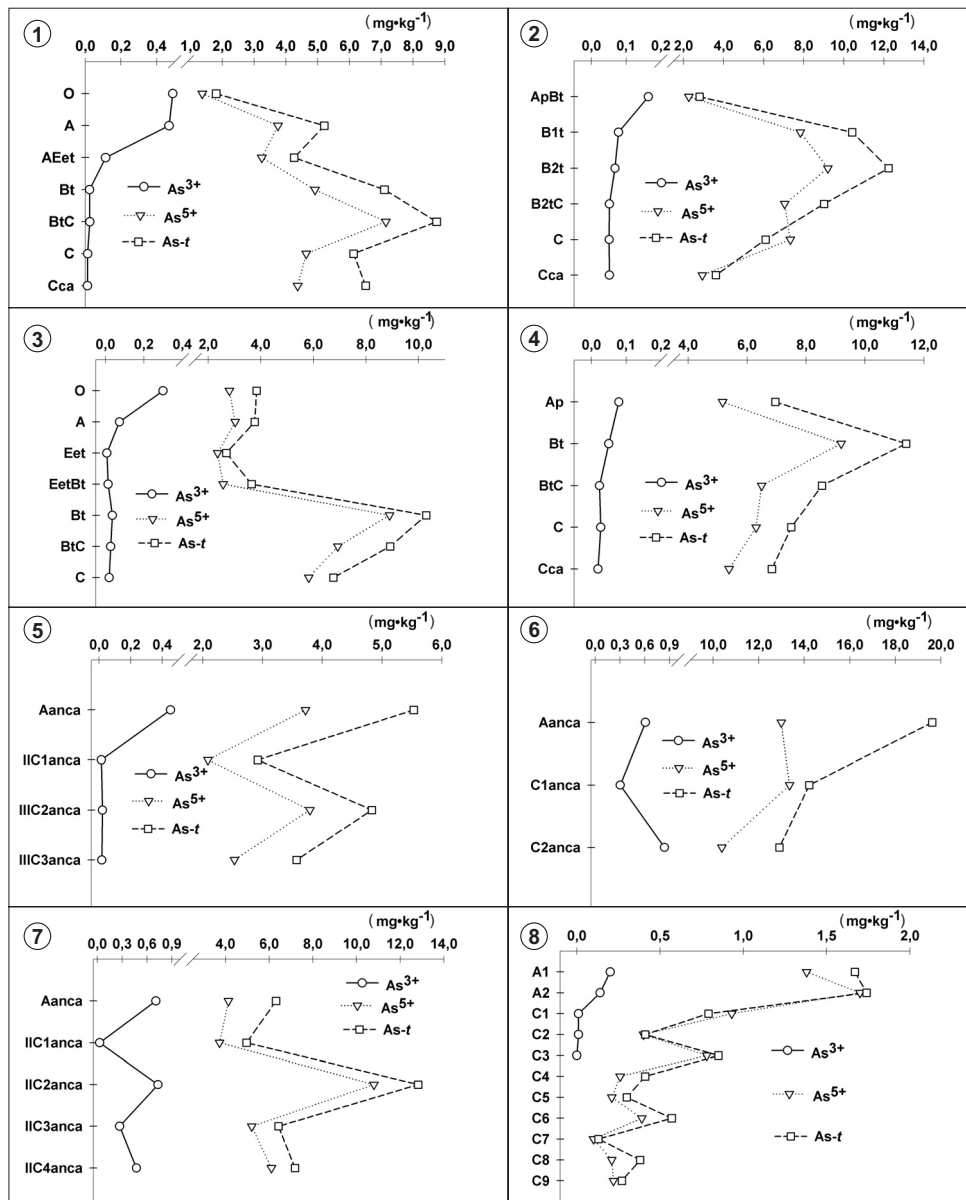
Uzyskane dane analityczne dotyczące całkowitej zawartości arsenu w glebach Lublina wskazują wyraźnie na duże zróżnicowanie koncentracji tego pierwiastka (rys. 8, 9). Dotyczy ono zmienności nie tylko w jego profilowym rozmieszczeniu, ale także związane jest z typem i pochodzeniem badanych gleb, rodzajem użytkowania oraz wpływem potencjalnych źródeł zanieczyszczenia.

W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4, 13), glebie brunatnej właściwej (profil nr 15) i glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11) zawartość ogólna As-*t* przyjmuje wartości od 0,42 do 13,26 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Najmniejszą koncentracją arsenu charakteryzuje się gleba brunatno-rdzawa (profil nr 11) zbudowana z utworów piaszczystych. Znacznie większą zawartość arsenu ogólnego As-*t* posiadają gleby płowe (profile nr 1, 2, 3, 4, 13) i gleba brunatna właściwa (profil nr 15) wytworzone z lessu. W glebach płowych koncentracja As-*t* wykazuje profilową zmienność i różnorodność w pionowym rozmieszczeniu z charakterystyczną tendencją kumulacji w poziomach Bt i BtC. Podobne prawidłowości wzrostu zawartości ogólnej arsenu As-*t* w poziomie

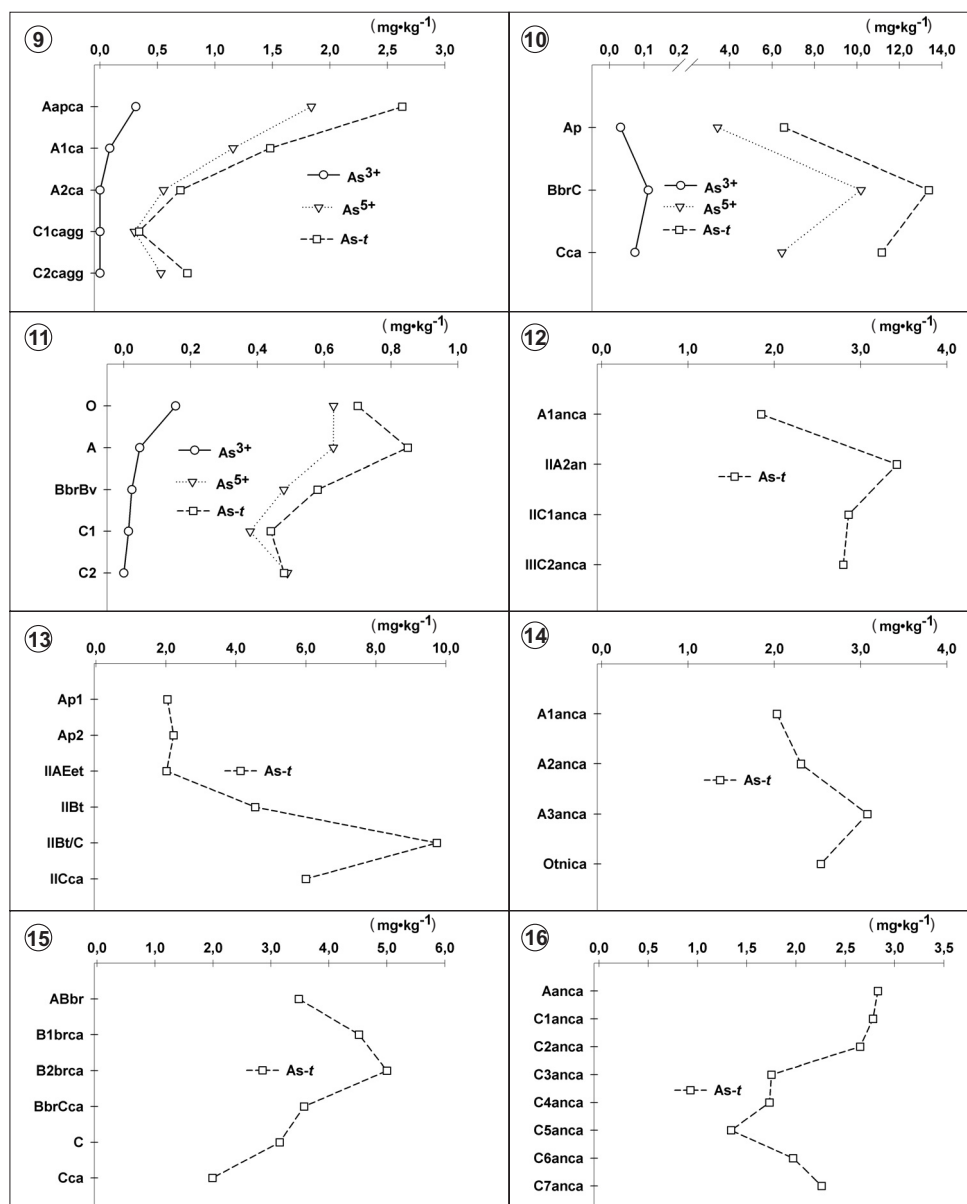
wzbogacenia Bbr występują także w glebie brunatnej właściwej (profil nr 15). Natomiast w profilu nr 11 gleby brunatno-rdzawej zawartość arsenu ogólnego *As-t* systematycznie maleje wraz z głębokością. Analizując wartości koncentracji arsenu w glebach tego samego typu (gleba płowa, typowa; profile nr 1, 2, 3, 4), a różnie użytkowanych (las-profile nr 1, 3 – pole-profile nr 2, 4) można zaobserwować większe stężenie badanego pierwiastka w glebach użytkowanych rolniczo. Zawartość *As-t* w glebach płowych Lublina nie odbiega od koncentracji tego pierwiastka w profilach porównawczych zlokalizowanych po za Lublinem, w Czesławicach koło Nałęczowa.

Urbanioziemny (profile nr 5, 6, 7, 12, 14, 16) charakteryzują się największą zawartością *As-t* wśród badanych gleb Lublina. Koncentracja tego pierwiastka waha się od 1,34 do 19,62 mg·kg⁻¹ wykazując z reguły nieuporządkowany rozkład w wyodrębnionych warstwach. W przypadku gleb antropogenicznych wyraźnie zaznacza się wpływ zanieczyszczeń przemysłowych. Gleby antropogeniczne zlokalizowane w sąsiedztwie zakładów przemysłowych (profile nr 6, 7) charakteryzują się podwyższoną zawartością *As-t* we wszystkich wydzielonych warstwach. Największą zawartością arsenu, średnio 13,92 mg·kg⁻¹, charakteryzowała się gleba pobrana w sąsiedztwie elektrociepłowni Mega-Tem i kołowni byłych Zakładów Daewoo Motor Polska (profil nr 6). Wysoką zawartością *As-t* charakteryzowała się także gleba zlokalizowana w sąsiedztwie Lubelskich Zakładów Przemysłu Skórzanego (profil nr 7), gdzie średnia koncentracja arsenu wyniosła 7,54 mg·kg⁻¹. W pozostałych glebach antropogenicznych zlokalizowanych na terenie ogródków działkowych (profile nr 5, 14), skwerów miejskich (profil nr 12) czy nieużytków (profil nr 16) najwyższą koncentracją *As-t* charakteryzowała się pararendzina antropogeniczna (profil nr 5) zlokalizowana w sąsiedztwie głównej arterii komunikacyjnej Lublina, Alei Tysiąclecia, na terenie opuszczonych ogródków działkowych. Średnia zawartość arsenu ogólnego *As-t* w profilu nr 5 wynosi 4,65 mg·kg⁻¹. W czarnej ziemi typowej, profil nr 9, średnia koncentracja arsenu ogólnego *As-t* wynosi 1,32 mg·kg⁻¹ i maleje wraz z głębokością. W madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) zawartość *As-t* wynosi średnio 0,77 mg·kg⁻¹. W profilu zaobserwowano, zaburzoną w niektórych warstwach, tendencję spadkową zawartości badanego pierwiastka wraz z głębokością. W pararendzinie brunatnej, profil nr 10, średnia zawartość arsenu ogólnego *As-t* wynosi 9,42 mg·kg⁻¹. Wartości *As-t* rośnie wraz z głębokością, z widoczną tendencją akumulacji w poziomie BbrC.

Arsen w glebach występuje z reguły na dwóch stopniach utlenienia; +3 i +5. W środowisku glebowym dobrze natlenionym i suchym, o pH od 5 do 8, dominuje wyższy stopień utlenienia, a arsen występuje głównie w związkach H₂AsO₄⁻ i HAsO₄²⁻. W glebach wilgotnych, słabo natlenionych, w których panują warunki redukcyjne



Rys. 8. Zawartość form As^{3+} , As^{5+} oraz zawartość ogólna arsenu ($mg \cdot kg^{-1}$) w profilach 1-8
Fig. 8. As^{3+} and As^{5+} forms content and total arsenic content ($mg \cdot kg^{-1}$) in profiles 1-8



Rys. 9. Zawartość form As^{3+} , As^{5+} oraz zawartość ogólna arsenu ($mg \cdot kg^{-1}$) w profilach 9-16
 Fig. 9. As^{3+} and As^{5+} forms content and total arsenic content ($mg \cdot kg^{-1}$) in profiles 9-16

i zwykle niskie pH, pierwiastek ten występuje na stopniu utlenienia +3 w połączeniach H_2AsO_3^- i HAsO_3^{2-} lub w formie niezdysonowanej H_3AsO_3 . Spośród wszystkich 16 profili glebowych wytypowano 11 reprezentujących zróżnicowaną typologię i użytkowanie. Przy wyborze uwzględniono także sąsiedztwo lubelskich zakładów przemysłowych będących potencjalnym źródłem zanieczyszczenia arsenem.

Zawartość obu analizowanych form arsenu w badanych glebach wykazuje zmienność profilową i duże zróżnicowanie koncentracji obu form pierwiastka (rys. 8, 9). Zawartość arsenu As^{5+} wahała się od 0,10 do 13,35 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast arsenu As^{3+} wahała się od minimalnych, nieoznaczalnych wartości do 0,84 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Uzyskane dane analityczne dotyczące specjacji chemicznej arsenu w glebach Lublina wskazują wyraźnie dominujący udział As^{5+} . Procentowy udział tej formy pierwiastka stanowi ponad 73,68% puli arsenu ogólnego *As-t*. Natomiast w wielu profilach nie stwierdzono wręcz obecności As^{3+} . W pozostałych glebach Lublina gdzie oznaczono As^{3+} , zaobserwowano zaburzoną w niektórych poziomach, tendencję spadkową zawartości tej formy wraz z głębokością. W zdecydowanej większości badanych gleb największe ilości As^{3+} stwierdzono w poziomie próchnicznym. Z kolei profilowy rozkład koncentracji As^{5+} jest bardzo zbliżony do zawartości ogólnej *As-t*.

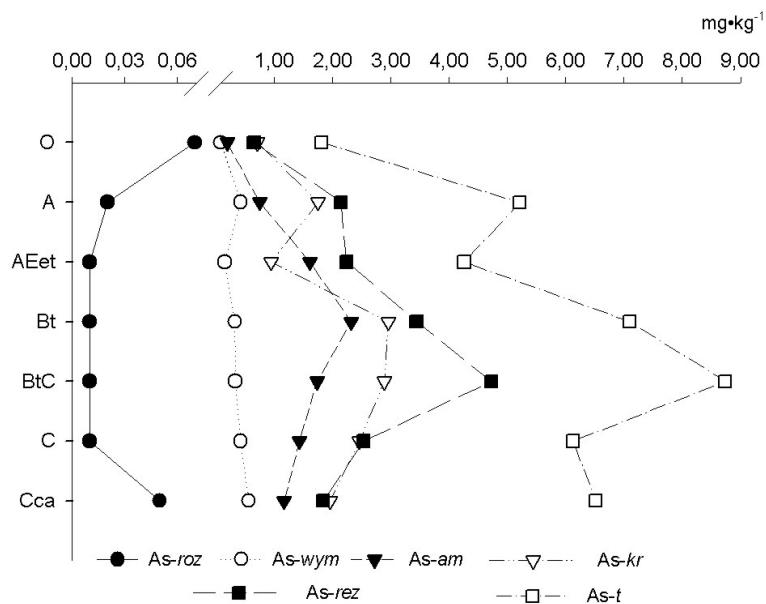
4.4. Zawartość form arsenu wydzielonych podczas funkcjonalnej analizy specjacyjnej

Ekotoksyczność i mobilność arsenu w glebie zależy nie tylko od formy chemicznej, ale także od sposobu jego wiązania z różnymi komponentami glebowymi.

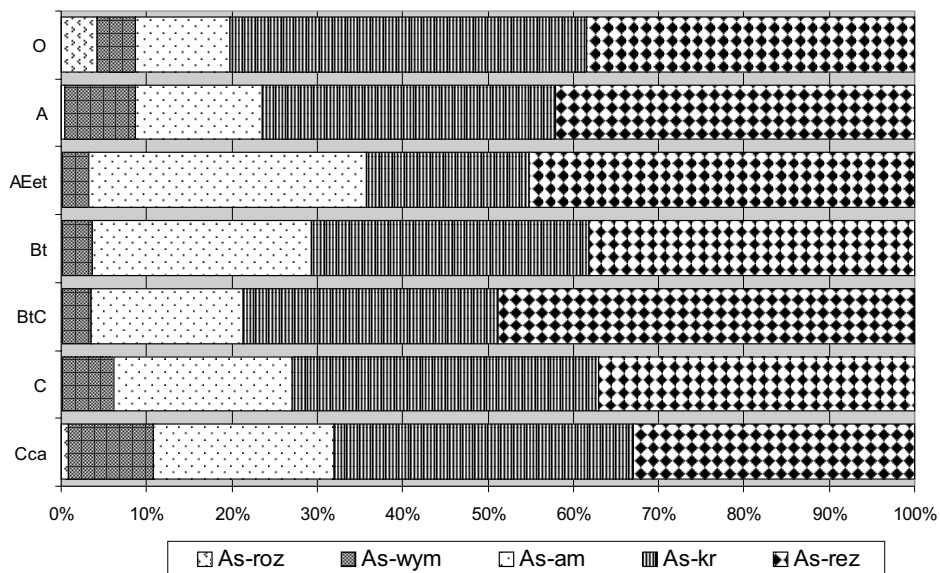
Poszczególne formy arsenu wydzielone z gleb Lublina podczas funkcjonalnej analizy specjacyjnej wykazują zmienne profilowe rozmieszczenia, a ilości są zróżnicowane w zależności od rodzaju formy. Do najbardziej mobilnej, mogącej ulegać desorpcji nawet na skutek zmian mocy jonowej roztworów ekstrakcyjnych kontaktujących się z glebą należy frakcja łatwo rozpuszczalna *As-roz*. Obejmuje ona związki arsenu niespecyficznie związane na powierzchni cząstek materii organicznej, uwodnionych tlenków i wodorotlenków oraz iltu koloidalnego (Wenzel i in. 2001). Zawartości *As-roz* w glebach Lublina wahały się w wąskich granicach dziesiątych i setnych części $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, przyjmując wartości od 0,002 do 0,24 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Procentowy udział *As-roz* w formie ogólnej *As-t* stanowi od 0,021 do 26,98%. W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4) i glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11) frakcja *As-roz* charakteryzuje się niewielkim zróżnicowaniem wartości koncentracji w układzie profilowym oraz największą zawartością *As-roz* w poziomie organicznym O i próchnicznym A (rys. 10, 12, 14, 16, 30). Zachowanie badanej frakcji arsenu łatwo rozpuszczalnego *As-roz* nie wykazuje wyraźnej zależności od rodzaju użytkowania. Nieco inaczej wygląda profilowy układ zawartości *As-roz* w glebach

antropogenicznych (profile nr 5, 6, 7). W wyodrębnionych warstwach można zaobserwować charakterystyczny nieuporządkowany rozkład tej frakcji (rys. 18, 20, 22). Największe stężenia *As-roz* w stosunku do pozostałych gleb Lublina oznaczono w urbanoziemach. W profilu nr 9, czarnej ziemi typowej, zawartość *As-roz* jest największa w poziomie próchnicznym i maleje wraz z głębokością (rys. 26). W madzie próchnicznej, (profil nr 8), oraz w parareździe brunatnej, profil nr 10, profilowe rozmieszczenie frakcji arsenu łatwo rozpuszczalnego charakteryzują się zmiennością w wydzielonych poziomach i warstwach, wykazując nieuporządkowany rozkład. Procentowy udział *As-roz* w formie ogólnej *As-t* jest największy w madzie próchnicznej (profil nr 8) (rys. 25), a najniższy w parareździe brunatnej (profil nr 10) (rys. 29) i glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4) (rys. 11, 13, 15, 17).

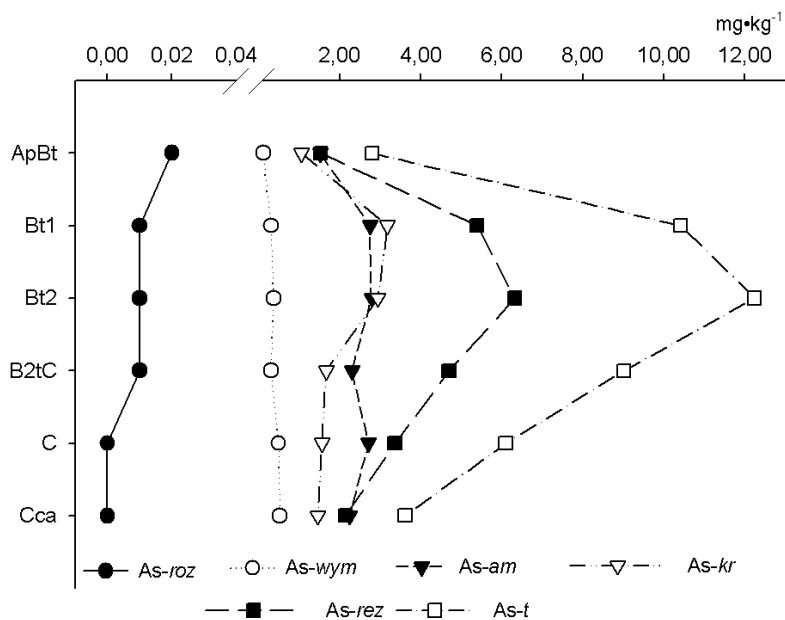
Mniej mobilna, obejmująca związki arsenu specyficznie zaadsorbowane na powierzchni cząstek materii organicznej, uwodnionych tlenków i wodorotlenków oraz łu koloidalnego, a także wbudowane w strukturę minerałów węglanowych, głównie kalcytu i dolomitu jest tzw. frakcja wymienna arsenu, *As-wym*. Zawartość *As-wym* oraz procentowy udział tej frakcji w badanych glebach Lublina wykazują z reguły zmienność w pionowym rozmieszczeniu i wahania wartości w dość szerokich granicach, od 0,03 do 1,88 mg·kg⁻¹. Największą zawartość frakcji wymiennej stwierdzono w profilu nr 6, parareździe antropogenicznej zlokalizowanej w pobliżu elektrociepłowni i kołowni. Gleba w tym miejscu w sposób szczególny jest narażona na zanieczyszczenia przemysłowe. Procentowy udział *As-wym* w formie ogólnej *As-t* stanowi od 2,38 do 28,76%. W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4) zawartość analizowanej frakcji *As-wym* rośnie wraz z głębokością przyjmując z reguły największe wartości w poziomie skały macierzystej C (rys. 10, 12, 14, 16). W glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11) frakcja *As-wym* charakteryzuje się największą koncentracją w poziomie próchnicznym i nieznacznym spadkiem zawartości wraz z głębokością (rys. 30). W urbanoziemach (profile nr 5, 6, 7) profilowy rozkład frakcji wymiennej *As-wym* cechuje nieuporządkowany charakter (rys. 18, 20, 22). Spośród wszystkich analizowanych gleb Lublina zawartość *As-wym* w glebach antropogenicznych jest największa. Podobnie jak w glebach antropogenicznych, także i madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) trudno zaobserwować wyraźną tendencję nieuporządkowanego rozkładu zawartości *As-wym* (rys. 24). Natomiast w profilu nr 9, czarnej ziemi typowej, obserwujemy kumulację *As-wym* w poziomie próchnicznym, a następnie spadek wraz z głębokością (rys. 26). W glebie tej procentowy udział *As-wym* w formie ogólnej *As-t* w poziomie próchnicznym A stanowi ponad 28% i jest największy w stosunku do innych badanych gleb Lublina (rys. 27). W parareździe brunatnej (profil nr 10) rozkład zawartości frakcji wymiennej arsenu wykazuje charakterystyczne maksimum wartości w poziomie BbrC (rys. 28).



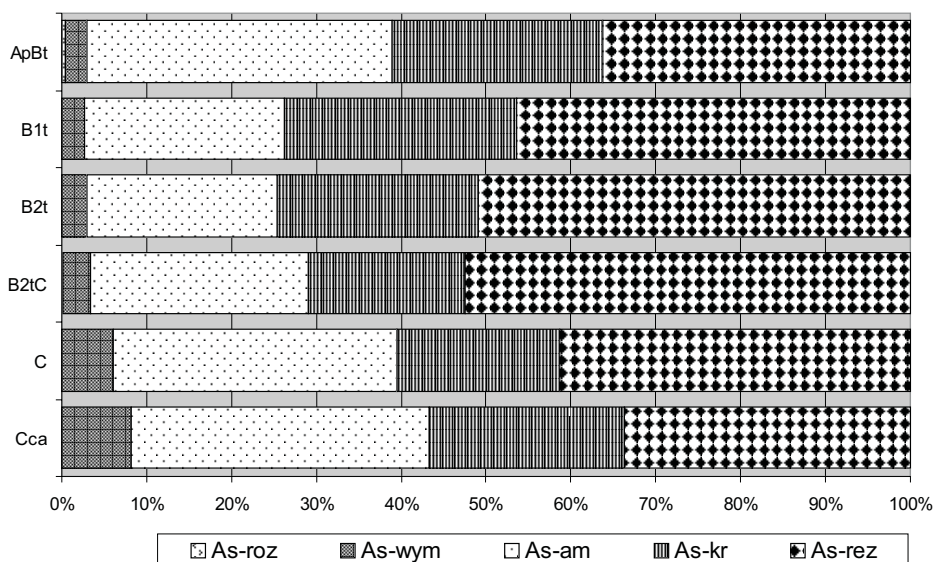
Rys. 10. Zawartość badanych form arsenu (mg·kg⁻¹) w profilu nr 1 (Czesławice k/Nałęczowa – las)
Fig. 10. Content of studied arsenic forms (mg kg⁻¹) in profile No. 1 (Czesławice – forest)



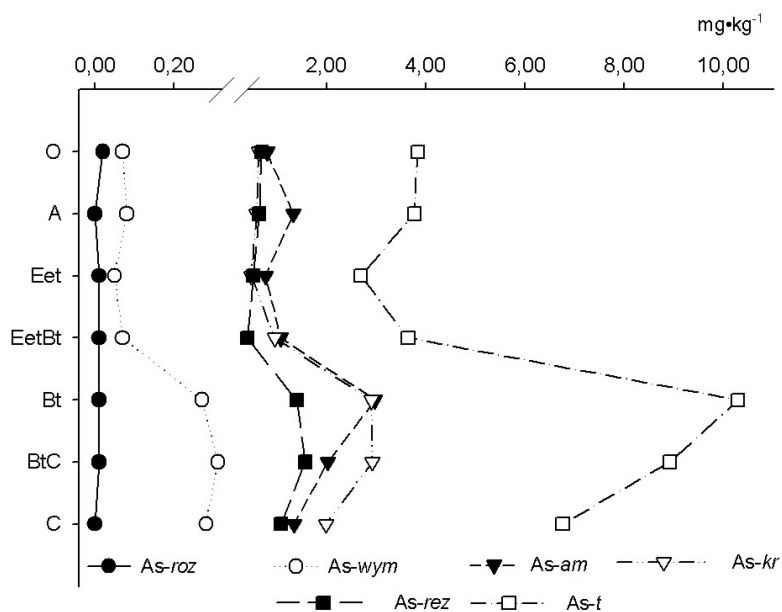
Rys. 11. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 1 (Czesławice k/Nałęczowa – las)
Fig. 11. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 1 (Czesławice – forest)



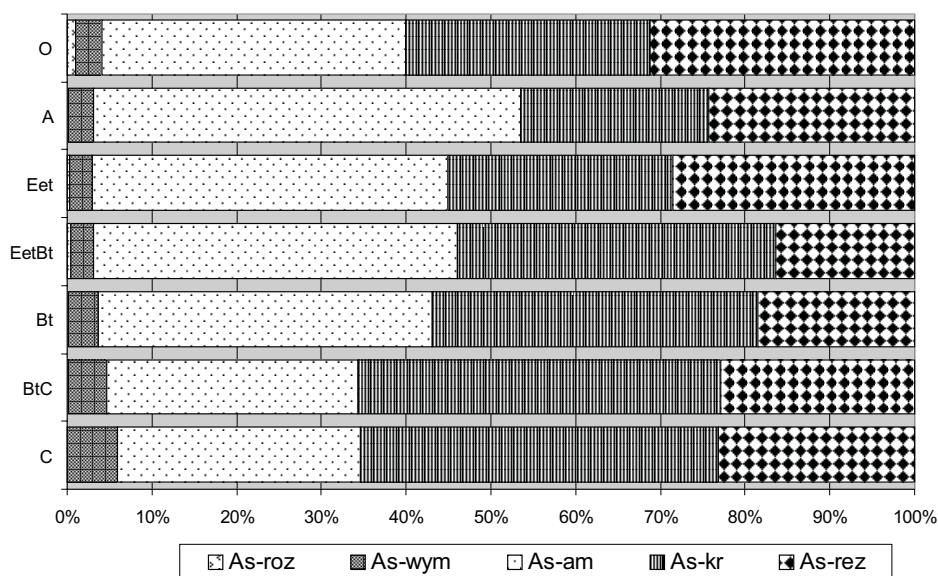
Rys. 12. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 2 (Czesławice k/Nałęczowa – pole)
Fig. 12. Content of studied arsenic forms ($\text{mg}\ \text{kg}^{-1}$) in profile No. 2 (Czesławice – field)



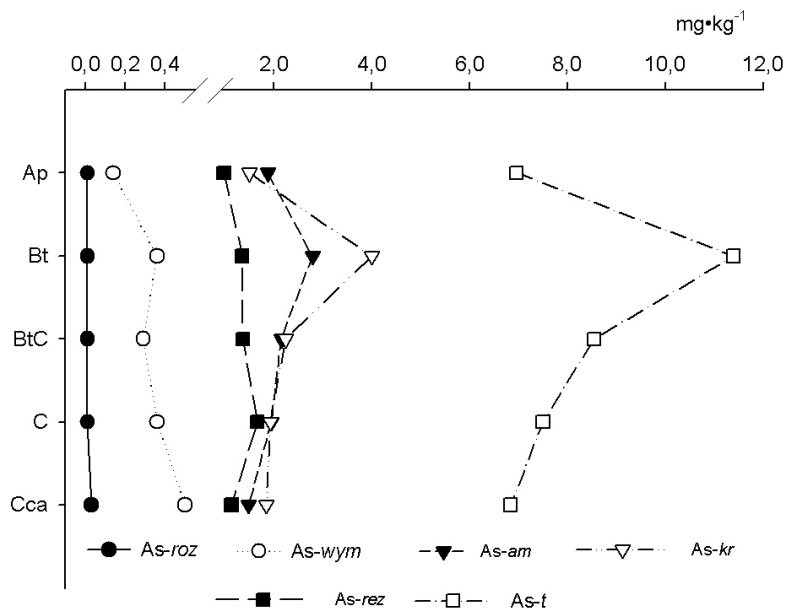
Rys. 13. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 2 (Czesławice k/Nałęczowa – pole)
Fig. 13. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 2 (Czesławice – field)



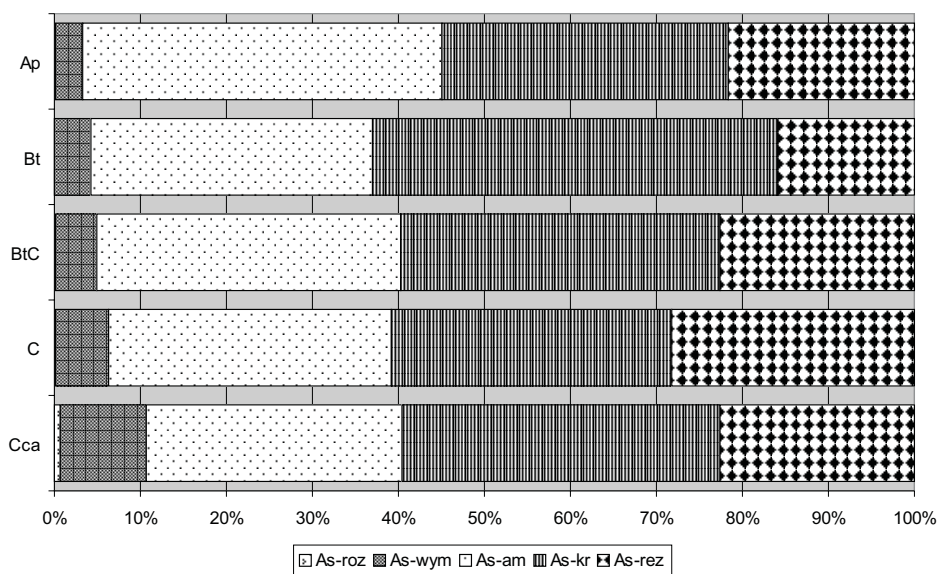
Rys. 14. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 3 (rezerwat "Stary Gaj" – las)
 Fig. 14. Content of studied arsenic forms ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in profile No. 3 ("Stary Gaj" Reserve – forest)



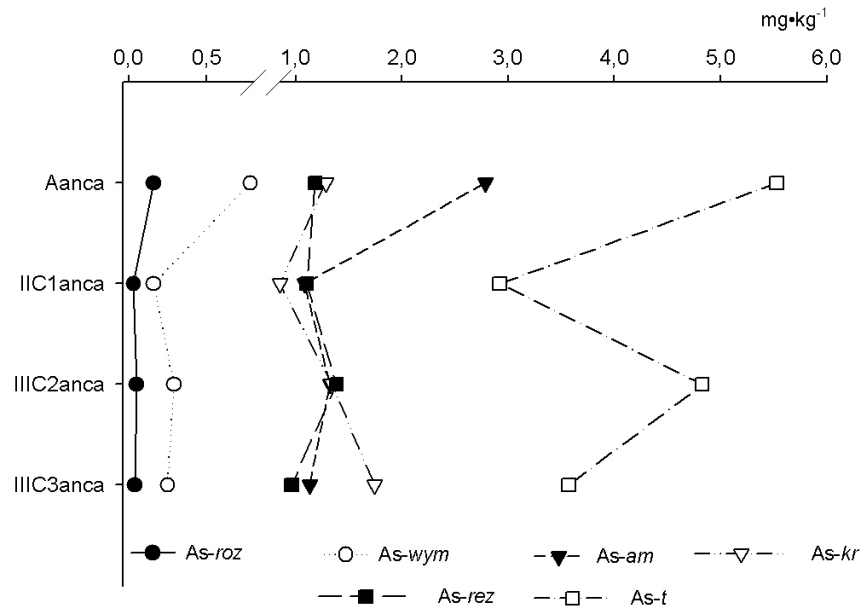
Rys. 15. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 3 (rezerwat "Stary Gaj" – las)
 Fig. 15. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 3 ("Stary Gaj" Reserve – forest)



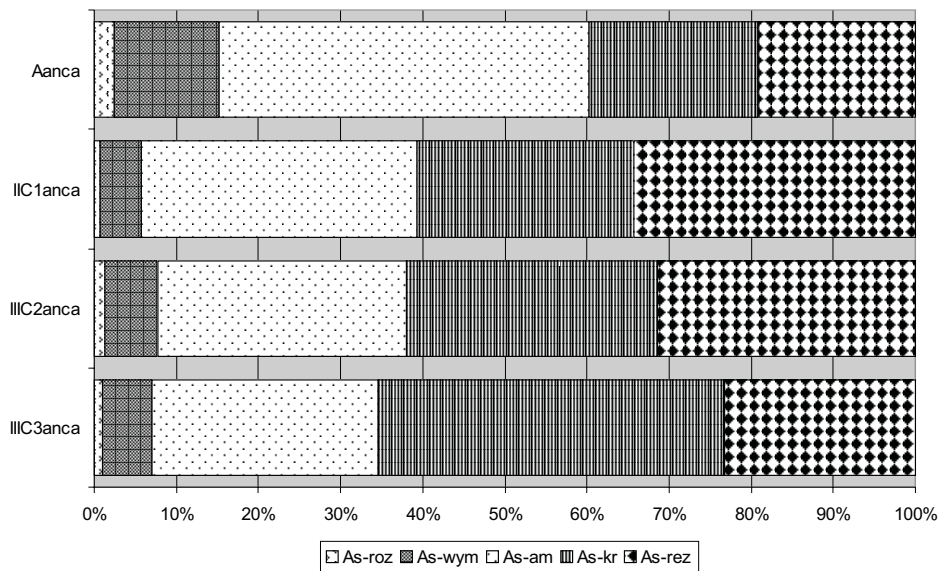
Rys. 16. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 4 (rezerwat "Stary Gaj" – pole)
Fig. 16. Content of studied arsenic forms ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in profile No. 4 ("Stary Gaj" Reserve – field)



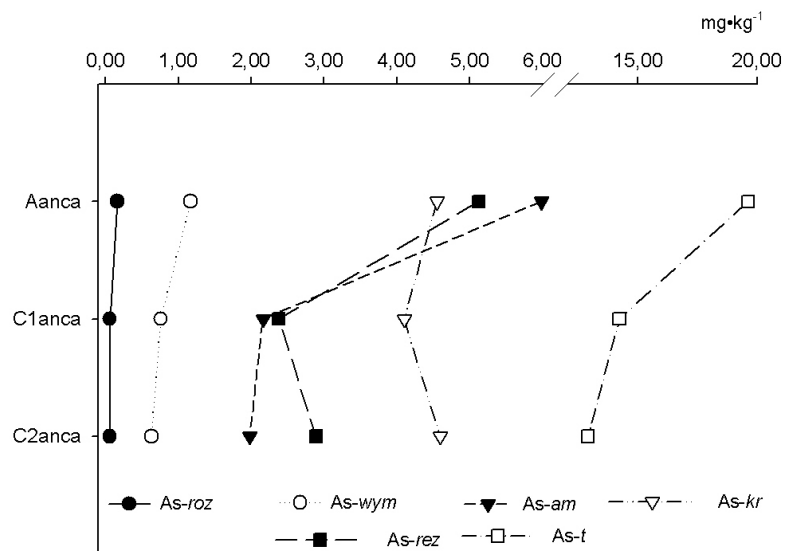
Rys. 17. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 4 (rezerwat "Stary Gaj" – pole)
Fig. 17. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 4 ("Stary Gaj" Reserve – field)



Rys. 18. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 5 (ul. Działkowa – ogródki działkowe)
Fig. 18. Content of studied arsenic forms ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in profile No. 5 (ul. Działkowa – allotments)

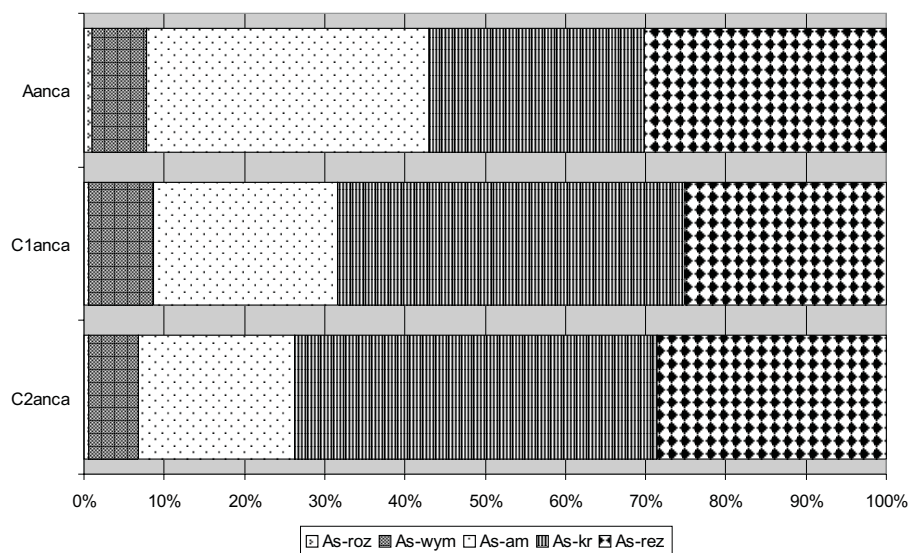


Rys. 19. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 5 (ul. Działkowa – ogródki działkowe)
Fig. 19. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 5 (ul. Działkowa – allotments)



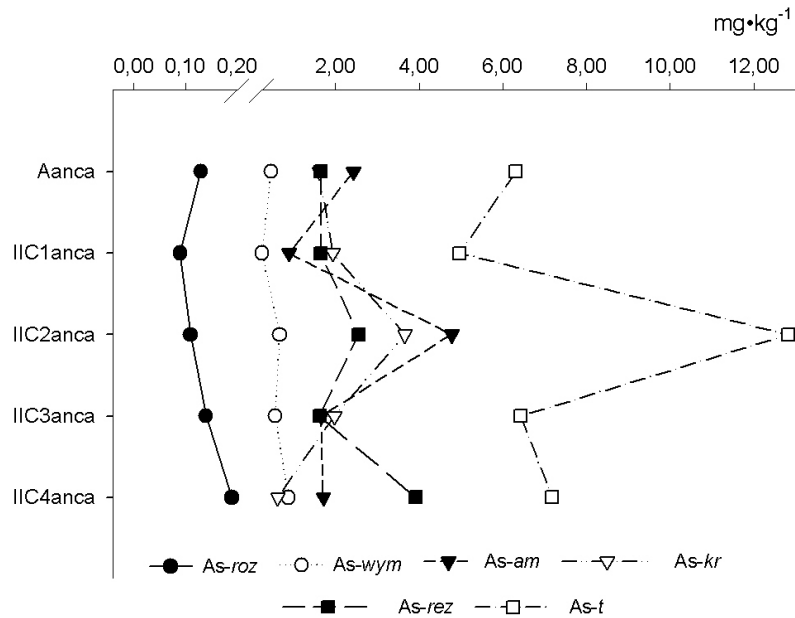
Rys. 20. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 6 (elektrociepłownia “Megatem” – nieużytek)

Fig. 20. Content of studied arsenic forms (mg kg^{-1}) in profile No. 6 (“Megatem” heating plant – wasteland)

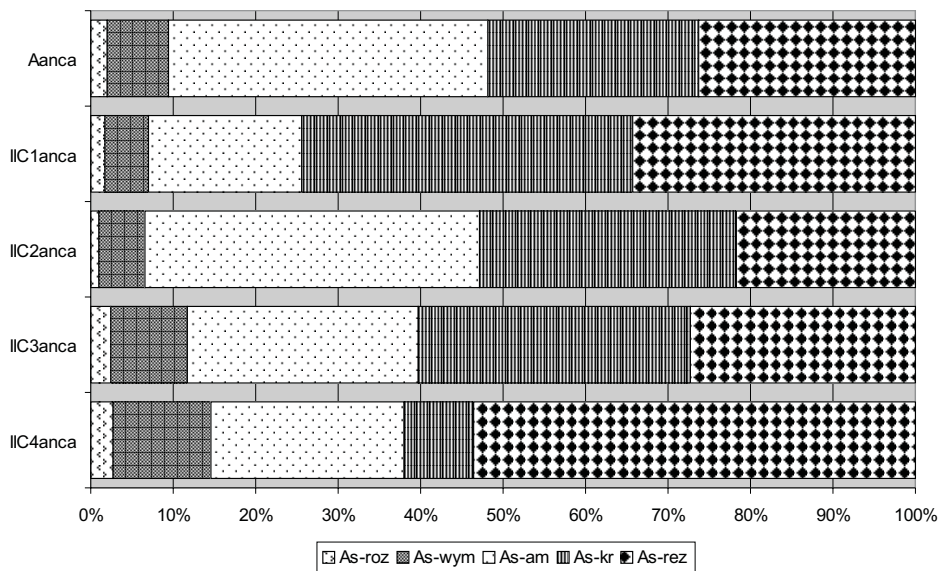


Rys. 21. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 6 (elektrociepłownia “Megatem” – nieużytek)

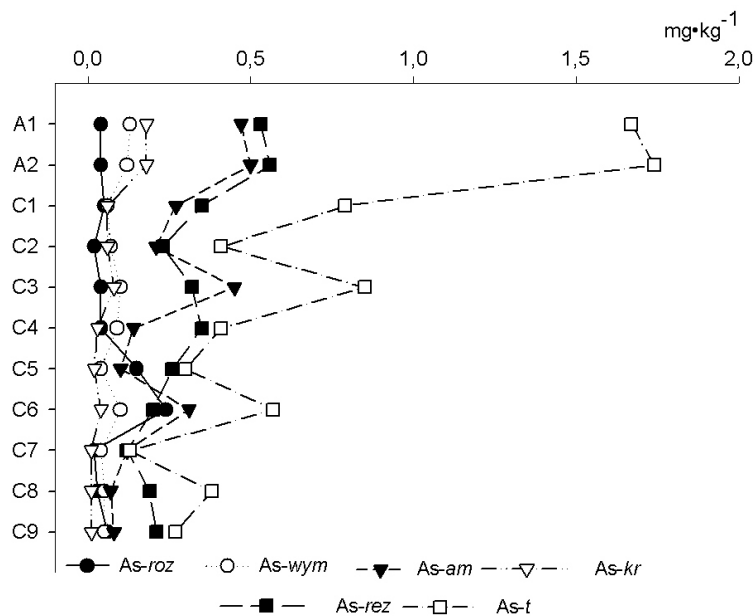
Fig. 21. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 6 (“Megatem” heating plant – wasteland)



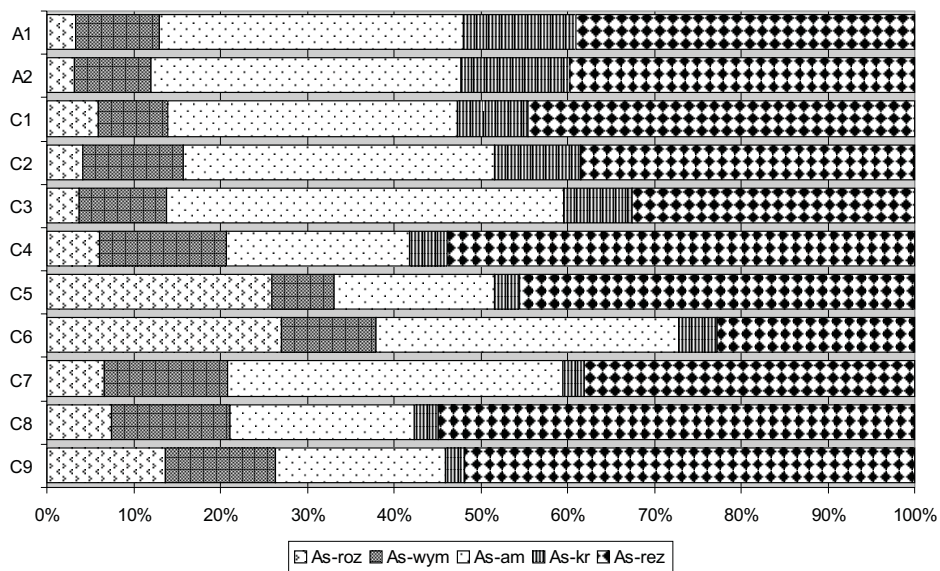
Rys. 22. Zawartość badanych form arsenu (mg·kg⁻¹) w profilu nr 7 (ul. Wolska – skwer)
Fig. 22. Content of studied arsenic forms (mg kg⁻¹) in profile No. 7 (ul. Wolska – square)



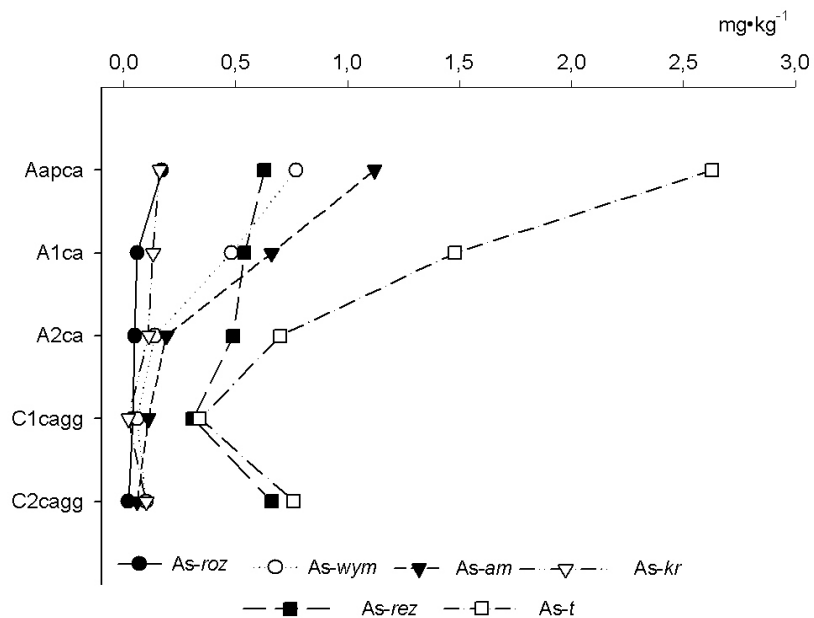
Rys. 23. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 7 (ul. Wolska – skwer)
Fig. 23. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 7 (ul. Wolska – square)



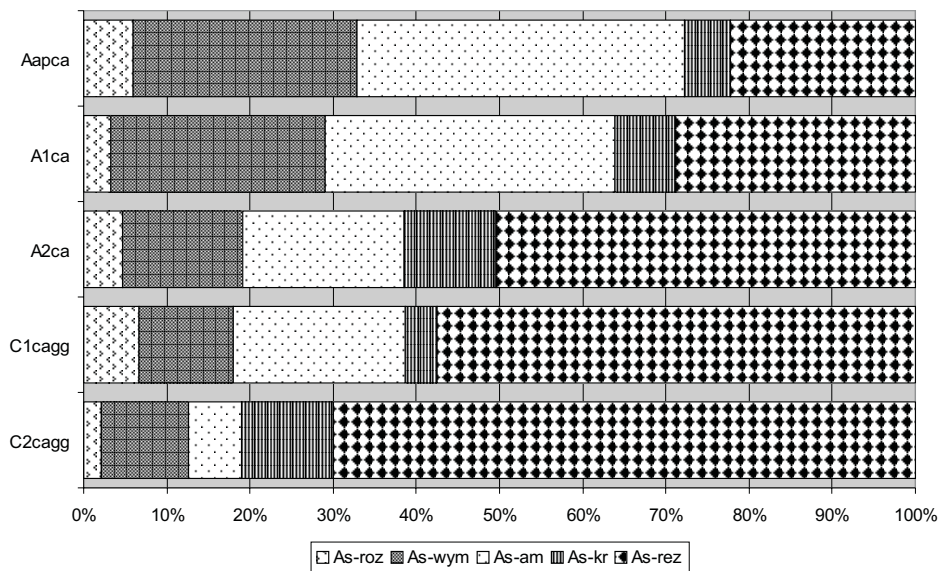
Rys. 24. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 8 (Hajdów – nieużytek)
Fig. 24. Content of studied arsenic forms ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in profile No. 8 (Hajdów – wasteland)



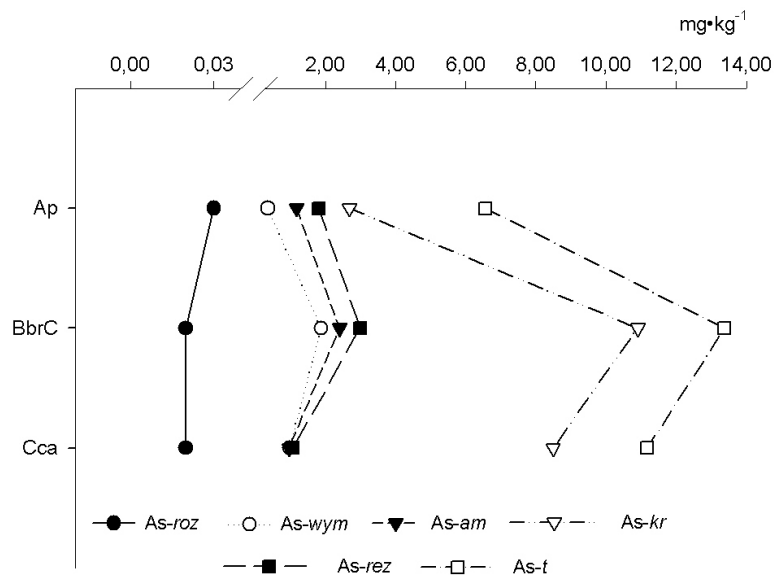
Rys. 25. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 8 (Hajdów – nieużytek)
Fig. 25. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 8 (Hajdów – wasteland)



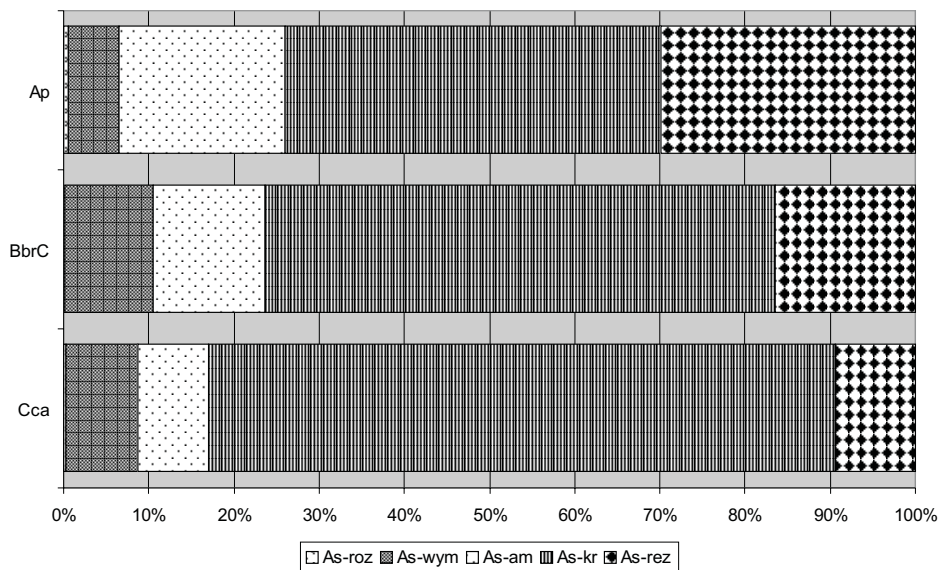
Rys. 26. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 9 (Zadębie – odłogowane pole)
Fig. 26. Content of studied arsenic forms ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in profile No. 9 (Zadębie – fallowed field)



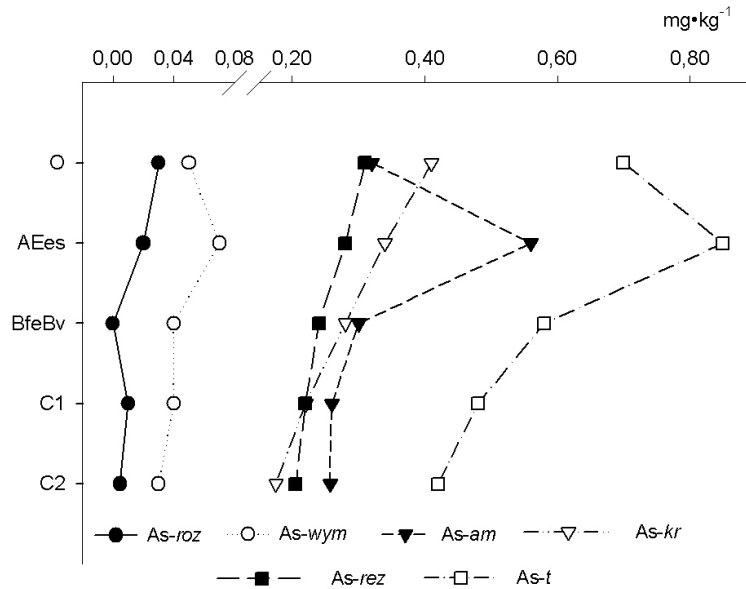
Rys. 27. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 9 (Zadębie – odłogowane pole)
Fig. 27. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 9 (Zadębie – fallowed land)



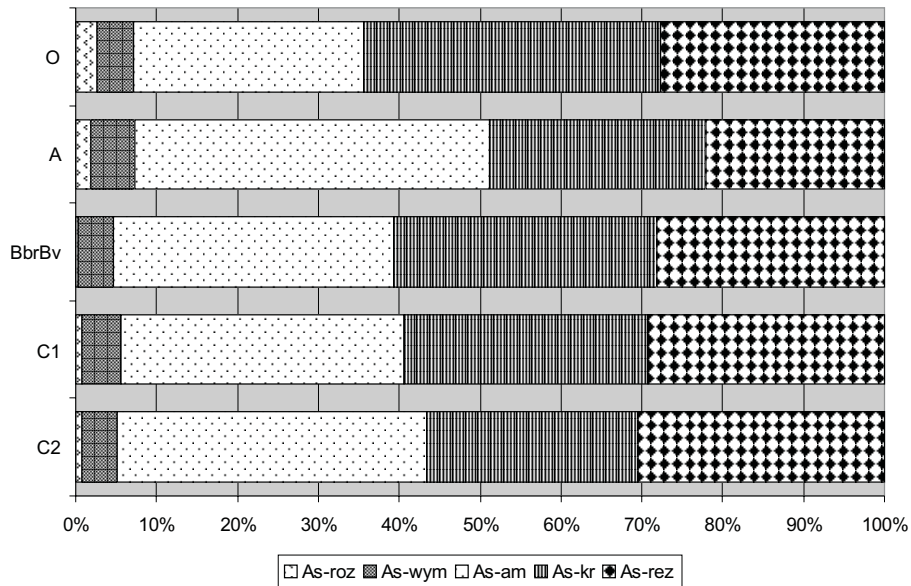
Rys. 28. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 10 (ul. Bryńskiego – odłogowane pole)
Fig. 28. Content of studied arsenic forms ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in profile No. 10 (ul. Bryńskiego – fallowed field)



Rys. 29. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 10 (ul. Bryńskiego – odłogowane pole)
Fig. 29. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 10 (ul. Bryńskiego – fallowed land)



Rys. 30. Zawartość badanych form arsenu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w profilu nr 11 (ul. Osmolicka – las)
Fig. 30. Content of studied arsenic forms ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in profile No. 11 (ul. Osmolicka – forest)



Rys. 31. Procentowy udział badanych form arsenu (%) w profilu nr 11 (ul. Osmolicka – las)
Fig. 31. Percentage of studied arsenic forms (%) in profile No. 11 (ul. Osmolicka – forest)

Zawartość frakcji obejmującej związki arsenu współstrącone z amorficznymi słabo uporządkowanymi uwodnionymi tlenkami żelaza, glinu i manganu *As-am* wykazuje w badanych glebach Lublina duże zróżnicowanie i zmienne rozmieszczenie profilowe. Frakcja *As-am* przyjmuje wartości od 0,06 do 5,98 mg·kg⁻¹. Procentowy udział *As-am* w formie ogólnej *As-t* jest znacząco wyższy w stosunku do wcześniej omawianych frakcji i stanowi od 6,45 do 53,95%. W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4) *As-am* wykazuje profilową zmienność i różnorodność w pionowym rozmieszczeniu z charakterystyczną tendencją kumulacji w poziomach Bt i BtC (rys. 10, 12, 14, 16). Frakcja *As-am* stanowi od 11,08 % do 53,95 % puli arsenu ogólnego *As-t* (rys. 11, 13, 15, 17). W profilu nr 11, glebie brunatno-rdzawej, zawartość frakcji *As-am* jest największa w poziomie A i systematycznie maleje wraz z głębokością (rys. 30). W urbanoziemach (profile nr 5, 6, 7) zawartość arsenu *As-am* charakteryzuje duże zróżnicowanie. Wartości koncentracji frakcji *As-am* maleją wraz z głębokością w profilach nr 5 i 6, natomiast w profilu nr 7 wykazują nieuporządkowany rozkład w wyodrębnionych warstwach gleb antropogenicznych z wyraźną kumulacją w jednej z warstw skały macierzystej IIC2anca (rys. 18, 20, 22). Frakcja *As-am* stanowi w tych glebach od 18,59 % do 48,64 % puli arsenu ogólnego *As-t* (rys. 19, 21, 23). W madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) oraz w czarnej ziemi typowej (profil nr 9) zawartość frakcji *As-am* wykazuje tendencję spadkową wraz ze wzrostem głębokości, zaburzona w niektórych poziomach czy warstwach (rys. 24, 26). W profilu nr 8 frakcja *As-am* stanowi od 18,48 do 45,79%, a w profilu nr 9 od 6,45 do 40,47% puli arsenu ogólnego *As-t* (rys. 25, 27). W pararendzinie brunatnej (profil nr 10) rozkład zawartości *As-am* wykazuje charakterystyczne maksimum wartości w poziomie BbrC (rys. 28). Omawiana frakcja stanowi w tym profilu od 8,36 do 20,22% puli arsenu ogólnego *As-t* (rys. 29).

W warunkach obniżonego potencjału utleniająco-redukującego uruchamiana jest kolejna frakcja związana z krystalicznymi, uwodnionymi tlenkami żelaza, na których współstrącają się związki arsenu *As-kr*. Zawartości frakcji arsenu *As-kr* związanego z krystalicznymi, uwodnionymi tlenkami żelaza oraz procentowy udział tej frakcji w puli całkowitej zawartości pierwiastka badanych gleb Lublina wykazują z reguły zmienność w pionowym rozmieszczeniu i wahania wartości w bardzo szerokich granicach, od 0,007 do 10,89 mg·kg⁻¹. Procentowy udział frakcji *As-kr* w formie ogólnej *As-t* stanowi od 2,24 do 73,55%. W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4) zawartość *As-kr* jest największa w poziomie Bt (rys. 10, 12, 14, 16), natomiast w glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11) koncentracja frakcji *As-kr* maleje wraz z głębokością (rys. 30). Udział procentowy *As-kr* w puli arsenu ogólnego *As-t* w glebach płowych waha się od 18,28 do 47,02% (rys. 11, 13, 15, 17), natomiast w glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11) przyjmuje wartości od 23,10 % do 36,65 % (rys. 31).

W urbanoziemach Lublina (profile nr 5, 6, 7) rozmieszczenie zawartości *As-kr* wykazuje duże podobieństwo w stosunku do wcześniej omawianych frakcji arsenu. Również w tym przypadku trudno znaleźć wyraźne prawidłowości i tendencje, a profilowe rozmieszczenie *As-kr* ma nieuporządkowany charakter i spore wahania wartości (rys. 18, 20, 22). Frakcja *As-kr* stanowi w glebach antropogenicznych od 8,5 do 54,48% puli arsenu ogólnego *As-t* (rys. 19, 21, 23). W madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) oraz w czarnej ziemi typowej (profil nr 9) koncentracja *As-kr*, wykazuje niewielkie wahania wartości w profilu ze słabo zarysowaną tendencją spadkową wraz ze wzrostem głębokości (rys. 24, 26). Frakcja *As-kr* stanowi w profilu nr 8 od 18,48 do 45,79%, a w profilu nr 9 od 6,45 do 40,47% puli arsenu ogólnego *As-t* (rys. 25, 27). Zupełnie inaczej kształtuje się profilowe rozmieszczenie frakcji arsenu *As-kr* w pararendzinie brunatnej (profil nr 10). Rozkład zawartości frakcji arsenu związanego z krystalicznymi, uwodnionymi tlenkami żelaza *As-kr* wykazuje charakterystyczne maksimum wartości w poziomie BbrC (rys. 28). Również w tej glebie obserwujemy największy udział omawianej frakcji arsenu w stosunku do puli arsenu ogólnego *As-t*, stanowiący od 43,26 do 73,55% (rys. 29).

W ostatniej z wydzielonych frakcji, atomy arsenu wbudowane są w sieć krystaliczną najtrwalszych minerałów glebowych (glinokrzemiany, krzemiany) i z reguły są niedostępne w warunkach naturalnych. Stanowią one frakcję rezydualną tzw. pozostałość, *As-rez*. Ilości arsenu w tej frakcji w badanych glebach Lublina wahają się w szerokich granicach, przyjmując wartości od 0,12 do 6,82 mg·kg⁻¹. Procentowy udział *As-rez* w formie ogólnej *As-t* stanowi od 9,38 do 69,96%. W glebach płowych (profile nr 1, 2, 3, 4) koncentracja frakcji rezydualnej *As-rez* wykazuje profilową zmienność i różnorodność w pionowym rozmieszczeniu z charakterystyczną tendencją kumulacji w poziomach Bt i BtC (rys. 10, 12, 14, 16). Frakcja *As-rez* stanowi od 15,95 do 52,40% puli arsenu ogólnego *As-t* (rys. 11, 13, 15, 17). W glebie brunatno-rdzawej (profil nr 11) zawartość *As-rez* nieznacznie maleje wraz z głębokością, a procentowy udział tej frakcji w puli ogólnej arsenu stanowi od 23,62 % do 32,14 % (rys. 30, 31). W urbanoziemach (profile nr 5, 6, 7) profilowy rozkład *As-rez* cechuje nieuporządkowany charakter i spore wahania wartości (rys. 18, 20, 22). Największą koncentrację tej frakcji zaobserwowano w profilu nr 6, glebie narażonej na działanie zanieczyszczeń przemysłowych zlokalizowanej w sąsiedztwie elektrociepłowni i kołowni. Zawartość *As-rez* w tej glebie przyjmuje wartości od 1,79 do 5,12 mg·kg⁻¹. Procentowy udział frakcji *As-rez* w formie ogólnej *As-t* stanowi w glebach antropogenicznych od 13,17 do 53,54% (rys. 19, 21, 23). Podobnie jak w glebach antropogenicznych, także w czarnej ziemi typowej (profil nr 9) trudno zaobserwować wyraźne tendencje w rozkładzie zawartości *As-rez*. Wyraźnie zarysowuje się jedynie wzrost ilości frakcji rezydualnej w poziomie C2cagg (rys. 26). W analizowanym

profilu najmniejszy udział tej frakcji obserwujemy w poziomie próchnicznym 20,43%, a największy w poziomie skały macierzystej 69,96% (rys. 27). W madzie rzecznej próchnicznej (profil nr 8) koncentracja arsenu *As-rez* wykazuje niewielkie wahania wartości z lekko zaburzoną tendencją spadkową wraz ze wzrostem głębokości (rys. 24). Frakcja *As-rez* stanowi w profilu nr 8 od 22,8 do 54,85% puli arsenu ogólnego *As-t* (rys. 25). Profilowe rozmieszczenie frakcji arsenu *As-rez* w parądzinie brunatnej (profil nr 10) wykazuje charakterystyczne maksimum wartości w poziomie BbrC, natomiast udział procentowy tej frakcji w puli arsenu ogólnego maleje wraz z głębokością i jest jednym z najmniejszych spośród wszystkich analizowanych gleb Lublina, przyjmując wartości od 9,38 do 30,06% (rys. 28, 29). W glebach Lublina analizowany był także wpływ użytkowania na zawartość i rozmieszczenie różnych form arsenu. Doświadczenie przeprowadzono na glebach płowych, najczęściej spotykanych w mieście. Dla porównania pobrane zostały także dwa profile po za granicami Lublina, w Czesławicach koło Nałęczowa. Materiał analizowany reprezentował gleby leśne (profile nr 1, 3) i gleby użytkowane rolniczo (profile nr 2, 4). Najsilniej wpływ użytkowania zaznacza się obecnością poziomów organicznych w profilach gleb leśnych i zróżnicowanymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi poziomów próchnicznych badanych gleb. Wyraźne różnice są widoczne już w opisie morfologicznym tych czterech profili. Funkcjonalna analiza specjacyjna wykazała, że w glebach płowych wykorzystywanych rolniczo zawartość frakcji *As-wym*, *As-am*, *As-kr* jest większa niż w glebach tego samego typu pobranych w lesie. Jedynie zachowanie *As-roz* nie wykazuje wyraźnej zależności od rodzaju użytkowania.

5. DYSKUSJA

Na obszarach zurbanizowanych znalezienie gleb nie zawierających domieszek antropogenicznych jest bardzo trudne. Gleby Lublina podlegające wielorakim presjom antropogenicznym, charakteryzują się zróżnicowaną zmianą ich właściwości chemicznych, fizykochemicznych, fizycznych i biologicznych oraz przekształceniem budowy morfologicznej. Mimo faktu, że w glebach Lublina wpływ czynnika ludzkiego jest znaczący, w żadnym z badanych obiektów nie zostały przekroczone normy dotyczące dopuszczalnej zawartości arsenu w glebie. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi z dnia 09.09.2005 r. dopuszczalna zawartość arsenu w glebach grupy użytkowej A, podlegającej najwyższym restrykcjom co do ilości zanieczyszczeń, wynosi $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Baran i in. 2003). Jedynie w punkcie badawczym zlokalizowanym w sąsiedztwie elektrociepłowni MegaTem i kołowni byłych Zakładów Daewoo Motor Polska zawartość całkowita arsenu w powierzchniowym poziomie wynosi $19,62 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i zbliża się do wartości granicznej. Na stosunkowo wysoką zawartość arsenu, znaczący wpływ miały zanieczyszczenia metalurgiczne z kołowni pobliskich zakładów i popiół pochodzący ze spalania węgla kamiennego w elektrociepłowni. Stosunkowo wysoką zawartością arsenu ogólnego charakteryzowała się gleba zlokalizowana w sąsiedztwie Lubelskich Zakładów Przemysłu Skórzanego, gdzie stężenie As-*t* w jednej z warstw wyniosło $12,82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Na podwyższoną zawartość arsenu ogólnego w stosunku do innych urbanoziemów Lublina mogły mieć wpływ zanieczyszczenia działającej na terenie Lubelskich Zakładów Przemysłu Skórzanego garbarni. W technologicznym procesie garbowania skór wykorzystywane są związki arsenu. Średnie zawartości arsenu w glebach miasta Lublina zasadniczo nie odbiegają od wartości oznaczonych przez innych autorów w glebach organizmów miejskich (Meinhardt 1994, Hudson i in. 1997, Navas, Ma 1997, Chirenje i in. 2003a, Chirenje i in., 2003b). Zakresy stężeń tego pierwiastka w badanych glebach Lublina wykazują lekko podwyższony charakter w stosunku do gleb południowo-wschodniej Polski będących poza wyraźnym oddziaływaniem emisji przemysłowych (Kołodziej 1994). Podobną prawidłowość obserwujemy przy porównaniu gleb płowych (profile nr 3, 4) zlokalizowanych w Lublinie do profili porównawczych pobranych poza terenem aglomeracji lubelskiej (profile nr 1, 2) reprezentujących także gleby płowe. Zarówno w glebach leśnych, jak i zlokalizowanych na polu uprawnym zawartości arsenu są z reguły wyższe w glebach Lublina w stosunku do prób odniesienia pobranych w Czesławicach. Zgromadzony materiał do badań reprezentował nie tylko gleby zróżnicowane pod względem typologicznym, ale także gleby różnie użytkowane. Biorąc pod uwagę to kryterium, największe zawartości arsenu i największe zróżnicowanie koncentracji pierwiastka zaobserwowano na lubelskich trawnikach i nieużytkach (profile nr 6, 7, 8, 12, 16),

natomiast najmniejsze w glebie leśnej (profil nr 11). Rozpatrując różnorodność użytkowania gleb Lublina należy pamiętać, że to właśnie poziomy wierzchnie są najbardziej podatne na działalność człowieka i w konsekwencji przekształcenie gleb, czy zmiany ich właściwości.

Istotność zróżnicowania wyodrębnionych grup użytkowania (las, pole uprawne, trawnik, ogródki działkowe) pod względem form arsenu zbadano za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA. W przypadku wykrycia istotnej różnicy pomiędzy średnimi w grupach zastosowano „post-hoc” test najmniejszej istotnej różnicy „NIR”. Analiza wariancji wskazuje, że wydzielone formy arsenu As^{3+} i arsenu łatwo rozpuszczalnego As -roz i arsenu wymiennego As -wym są istotnie zróżnicowane statystycznie względem gleb użytkowanych jako lasy, pola uprawne, czy miejskie skwery (tab. 5, 6 w załączniku).

Analiza składu granulometrycznego badanych gleb Lublina wskazuje, że poza profilami pochodzenia antropogenicznego, pozostałe nie są w znaczący sposób przekształcone w wyniku działalności człowieka i nie zatraciły swoich naturalnych cech. Pary badanych gleb (las-pole) zlokalizowanych zarówno w Lublinie (profile nr 3, 4), jak i w Czesławicach koło Nałęczowa (profile reperowe nr 1, 2) należą do gleb płowych typowych. Wykazują zbliżony skład granulometryczny. Różne użytkowanie tych gleb zaznacza się w widocznych zmianach właściwości chemicznych. Gleby uprawne wykazują wyraźnie wyższy odczyn niż leśne, oraz charakteryzują się wyższym stopniem wysycenia kationami zasadowymi (%V). Obserwowane prawidłowości mogą wynikać m.in. z nawożenia mineralnego i wapnowania (Skłodowski i Zarzycka 1995). Porównując gleby tego samego typu, a różnie użytkowane zauważalna jest zwiększona zawartość węgla organicznego w profilach leśnych, natomiast nie zaznaczają się wyraźne tendencje zróżnicowania zawartości form pedogenicznych żelaza, manganu i glinu w wyniku różnego użytkowania. W glebach płowych, wytypowanych do analizy wpływu użytkowania, o rozmieszczeniu tzw. ditionitowych, szczawianowych i pirofosforanowych form żelaza, glinu i manganu decydowały w największym stopniu procesy eluwacji i iluwacji, które z reguły prowadziły do zubożenia poziomów Ap, Eet, a wzbogacenia poziomów Bt (Melke 1997, Raczuk 2001). Przeprowadzona analiza całkowitej zawartości arsenu w omawianych glebach wskazuje, że w glebach płowych typowych użytkowanych rolniczo koncentracja badanego pierwiastka jest większa niż w leśnych. Uzyskane dane zgadzają się ze spostrzeżeniami innych autorów (Nriagu 1994a, Blaser i in. 2000, Chen i in. 2002).

Analiza statystyczna wykazała, że całkowita zawartość arsenu As -t w glebach Lublina jest istotnie bardzo silnie lub silnie, dodatnio skorelowana z zawartością frakcji iłu koloidalnego ($r = 0,67^{**}$), Fe -t i Fe -d ($r = 0,80^{**}$, $r = 0,69^{**}$) oraz silnie lub średnio dodatnio skorelowana z zawartością Fe -o, Al -d i Al -o ($r = 0,51^{**}$, $r = 0,42^{**}$, $r = 0,57^{**}$) (tab. 10). As -t wykazuje istotną, ujemną korelację o średnim natężeniu

z frakcją piasku ($r = -0,41^{**}$) (tab. 6). Oznaczone prawidłowości potwierdza wielu autorów opracowań naukowych opisujących właściwości arsenu (Nriagu 1994a, Chen i in. 2002, Frankenberger 2002). Zauważono także charakterystyczne osłabienie siły korelacji zawartości arsenu ogólnego z wymienionymi wcześniej właściwościami fizykochemicznymi w glebach pochodzenia antropogenicznego w stosunku do pozostałych gleb Lublina, mimo, że koncentracja arsenu w glebach antropogenicznych była z reguły wyższa od pozostałych (tab. 8). Może to świadczyć, że decydującym czynnikiem rozmieszczenia arsenu w glebach antropogenicznych jest profilowy układ warstw różnego materiału, który rozmieścił człowiek w procesie tworzenia tego typu gleb. Istotność zróżnicowania gleb antropogenicznych i naturalnych pod względem form arsenu zbadano pod względem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA. W przypadku wykrycia istotnej różnicy pomiędzy średnimi w grupach zastosowano „post hoc” test najmniejszej rozsądnej różnicy HSD Tuckey’a. Analiza wariancji wskazuje, że wszystkie wydzielone formy arsenu podczas specjacji chemicznej i funkcjonalnej są istotnie zróżnicowane statystycznie zarówno w glebach antropogenicznych i nie wytworzonych przez człowieka (tab. 7, 8 w załączniku).

Jeszcze wyraźniejszy wpływ na zależności pomiędzy zawartością całkowitą arsenu, wybranymi właściwościami fizykochemicznymi gleb Lublina ma odczyn. W glebach kwaśnych można zaobserwować wyraźny wzrost współczynników korelacji całkowitej zawartości arsenu w stosunku do zawartości łu koloidalnego, Fe-*t*, Fe-*d*, Fe-*o*, Al-*t* i Al-*o* (tab. 9). W glebach charakteryzujących się odczynem obojętnym bądź alkalicznym zaznacza się osłabienie siły korelacji (tab. 10). Powyższe prawidłowości zostały potwierdzone w pracach nad zagadnieniami adsorpcji arsenu na powierzchni różnych komponentów gleby. Stwierdzono, że w glebach kwaśnych i słabo kwaśnych sorpcja arsenu zlokalizowana jest na powierzchni najdrobniejszych cząstek mineralnych ($< 0,02$ mm) o ładunku dodatnim, oraz półtoratlenków występujących jako koloidy glebowe (Nriagu 1994a). W glebach płowych Lublina maksymalna koncentracja form As-*t*, As-*am*, As-*kr* występowała w poziomach Bt, z równoczesnym nagromadzeniem łu koloidalnego oraz Fe-*t*, Fe-*d*, Fe-*o*, Al-*t*, Al-*d* i Al-*o*. Nie stwierdzono natomiast istotnych statystycznie korelacji pomiędzy profilowym rozkładem zawartości As-*t*, a rozmieszczeniem zawartości węgla organicznego (C-org.), pojemności sorpcyjnej (T) i sumy kationów o charakterze zasadowym (S) we wszystkich badanych glebach Lublina. Podobne spostrzeżenia opisane zostały przez wielu autorów (Nriagu 1994a, Kabata-Pendias i Pendias 1999, Frankenberger 2002). Omawiając wybrane zagadnienie związane z chemią arsenu w glebie, nie można pominąć właściwości tego pierwiastka polegającej na występowaniu na różnych stopniach utlenienia oraz łatwości tworzenia związków kompleksowych. Prace wielu autorów wskazują, że w glebach różnych typów przeważają związki arsenu na +5 i +3 stopniu utlenienia i w przeważającej części są

to związki nieorganiczne (Nriagu 1994a, Chappell i in. 1995, Sharim i in. 1999, Frankenberger 2002; Smith i in. 2002).

Wielokrotnie stwierdzono, że ruchliwość, rozpuszczalność i biodostępność arsenu zależy w znacznej mierze od stopnia utlenienia. Z reguły nieorganiczne związki arsenu na +3 stopniu utlenienia są bardziej mobilne, dostępne dla roślin, ale i niestety bardziej toksyczne (Pongratz 1998, Garcia-Manyes i in. 2002). W wyniku przeprowadzonej specjacji chemicznej na wybranych glebach Lublina, analiza koncentracji związków arsenu występującego na +3 stopniu utlenienia wskazuje na jego niewielki udział w ogólnej puli arsenu, nie przekraczający 26%. Z reguły ta forma arsenu pojawiała się w największej koncentracji w glebach antropogenicznych, oraz w powierzchniowych poziomach pozostałych gleb. Analiza statystyczna wykazała brak istotnych korelacji zawartości As^{3+} w stosunku do oznaczonych właściwości fizyko-chemicznych badanych profili. Wskazywać to może, że zanieczyszczenia przemysłowe zawierające związki arsenu na +3 st. utlenienia zostały zdeponowane w powierzchniowych warstwach gleby, a przypadku gleb antropogenicznych były integralną częścią nawiezionych warstw i nie zdążyły wejść we wzajemne współzależności z innymi komponentami glebowymi. As^{3+} wykazywał jedynie istotną statystycznie korelację o średnim natężeniu do profilowego rozkładu całkowitej zawartości omawianego pierwiastka $As-t$ ($r = 0,38^{**}$) (tab. 6). Publikowane wyniki badań nad zachowaniem As^{3+} , wskazują, że ta forma pierwiastka wykazuje duże powinowactwo do tlenków manganu (Oscarson i in. 1983, Smith i in. 2002). Analiza statystyczna nie wykazała istotnych korelacji pomiędzy zawartością As^{3+} , a profilowym rozmieszczeniem oznaczonych form manganu $Mn-t$, $Mn-d$, $Mn-o$ i $Mn-p$. Odmiennym zachowaniem w glebach Lublina charakteryzowała się forma arsenu na +5 stopniu utlenienia. We wszystkich profilach As^{5+} była formą dominującą, oraz wykazywała istotną bardzo silną korelację z zawartością ogólną arsenu ($r = 0,98^{**}$) (tab. 6). Prace opisujące zagadnienia adsorpcji i transportu form arsenu na różnych minerałach lub w glebie potwierdzają, że As^{5+} charakteryzują odmienne właściwości niż formę zredukowaną (Smith i in. 2002, Williams i in. 2003). Analiza statystyczna wykazała, że profilowe rozmieszczenie As^{5+} jest istotnie bardzo silnie lub silnie dodatnio skorelowana z zawartością frakcji iłu koloidalnego ($r = 0,68^{**}$), $Fe-t$ i $Fe-d$ ($r = 0,80^{**}$, $r = 0,66^{**}$) oraz silnie lub średnio dodatnio skorelowana z zawartością $Fe-o$, $Al-d$ i $Al-o$ ($r = 0,52^{**}$, $r = 0,33^{**}$, $r = 0,55^{**}$) (tab. 6).

Podczas funkcjonalnej analizy specjacyjnej z badanych gleb Lublina zostało wyodrębnionych pięć form w jakich arsen jest związany w glebie. Dokładność sekwencyjnej analizy ekstrakcyjnej została sprawdzona poprzez porównanie sumy zawartości arsenu wyekstrahowanego z pięciu frakcji ($As-sum = As-roz + As-wym + As-am + As-kr + As-rez$) z zawartością arsenu ogólnego $As-t$ uzyskanego po mineralizacji gleby wodą królewską. Korelacja pomiędzy $As-sum$ i $As-t$ była istotnie

Tabela 6. Współczynniki korelacji (r) między zawartością badanych form arsenu a wybranymi cechami fizykochemicznymi w glebach Lublina

Table 6. Correlation coefficients (r) between the content of arsenic forms investigated and chosen physicochemical features in the soils of Lublin

	<i>As-t</i>	As^{3+}	As^{5+}	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
As^{3+}	0,38		0,36	0,51	0,48	0,53		0,23
As^{5+}	0,98	0,36			0,64	0,80	0,77	0,73
<i>As-roz</i>		0,51			0,38			
<i>As-wym</i>	0,67	0,48	0,64	0,38		0,62	0,74	0,46
<i>As-am</i>	0,81	0,53	0,80		0,62		0,56	0,67
<i>As-kr</i>	0,80		0,77		0,74	0,56		0,51
<i>As-rez</i>	0,75		0,73		0,46	0,67	0,51	
<i>As-t</i>		0,38	0,98		0,67	0,81	0,80	0,75
pH _{H₂O}	-0,28	-0,28	-0,35			-0,26		-0,54
pH _{KCl}	-0,51	-0,27	-0,57			-0,60	-0,24	-0,48
% CaCO ₃	0,33		0,51		0,72	0,43	0,56	0,37
% C-org.		0,75		0,64	0,47	0,42		
<i>Ca-wym</i>	0,20	0,51	0,33	0,56	0,61	0,34	0,29	0,29
<i>Mg-wym</i>				0,47	0,27			
<i>Na-wym</i>	0,31	0,31	0,42		0,51			
<i>K-wym</i>		0,56		0,33	0,24			
S		0,52	0,28	0,61	0,61	0,33		0,24
<i>H-wym</i>								
T		0,58	0,26	0,57	0,56	0,32		0,25
V				0,47				
<i>Ca-t</i>	0,34	0,48	0,32	0,63	0,76	0,43		
<i>Mg-t</i>	0,53		0,51		0,55	0,43	0,57	0,35
<i>Na-t</i>	0,59	0,64	0,55	0,39				
<i>K-t</i>	0,45		0,49				0,58	
<i>Mn-t</i>								
<i>Mn-d</i>								
<i>Mn-o</i>								
<i>Mn-p</i>					-0,23			
<i>Fe-t</i>	0,80	0,50	0,80		0,55	0,87	0,60	0,56
<i>Fe-d</i>	0,69	0,58	0,66		0,50	0,79	0,53	0,56

Tabela 6. cd.
Table 6. Cont.

	As- <i>t</i>	As ³⁺	As ⁵⁺	As- <i>roz</i>	As- <i>wym</i>	As- <i>am</i>	As- <i>kr</i>	As- <i>rez</i>
Fe- <i>o</i>	0,51	0,61	0,52		0,38	0,76	0,30	0,47
Fe- <i>p</i>	-0,24							
Fe- <i>kr</i>	0,64				0,46	0,59	0,59	0,46
Al- <i>t</i>					0,22		0,37	
Al- <i>d</i>	0,42		0,33	-0,46		0,30	0,33	0,44
Al- <i>o</i>	0,57		0,55	-0,35	0,32	0,52	0,56	0,74
Al- <i>p</i>	0,29			-0,47	-0,21	0,24		0,27
% 1-0,1 cm	-0,41		-0,47	0,35		-0,43	-0,36	-0,44
% 0,1-0,05 cm				-0,24	0,23		0,29	
% 0,05-0,02 cm	0,25		0,32	-0,40		0,30		0,30
% 0,02-0,005 cm	0,29		0,36	-0,27		0,41		0,36
% 0,005-0,002 cm	0,29	0,40	0,42		0,50	0,52	0,28	0,29
< 0,002 cm	0,67		0,68		0,47	0,51	0,73	0,69

**Korelacje istotne przy $p < 0,05$, $n = 79$.
Correlations are significant at $p < 0,05$, $n = 79$.

statystyczna i bardzo silna ($r = 0,93^{**}$) co świadczy o zadowalającej współzależności obu procedur analitycznych. Najbardziej mobilna, frakcja łatwo-rozpuszczalna As-*roz* ekstrahowana $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, obejmuje związki arsenu nie-specyficznie związane na powierzchni cząstek materii organicznej, uwodnionych tlenków i wodorotlenków oraz łu koloidalnego. Proponowane przez innych autorów odczynniki ekstrakcyjne ($(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$ czy $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) okazały się mniej efektywne i selektywne w stosunku do siarczanu amonu (Tessier i in. 1979, Wenzel i in. 2001). Z uwagi na łatwość wypłukiwania tej frakcji z gleby i przedostawania się do wód gruntowych oraz jej dużą biodostępność, określenie zawartości As-*roz* może być wykorzystywane jako wskaźnik zanieczyszczenia gleb formami arsenu najbardziej niebezpiecznymi dla człowieka i zwierząt. Frakcja As-*roz* jest głównie odpowiedzialna za zagrożenie środowiska (Cappuyns i in. 2002, Wenzel i in. 2001). W glebach Lublina frakcja ta stanowiła średnio około 2% zawartości ogólnej As-*t*. Najwyższe koncentracje As-*roz* w powierzchniowych poziomach badanych gleb Lublina i stosunkowo duże zawartości w glebach antropogenicznych świadczą, że pochodzenie tej frakcji jest bezpośrednio związane z aktywnością człowieka. Na uwagę zasługuje fakt pojawienia się istotnej statystycznie, dodatniej, silnej korelacji pomiędzy zawartością arsenu As³⁺, a omawianą frakcją

($r = 0,51^{**}$) (tab. 6). Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że zarówno *As-roz* i As^{3+} w badanych glebach mogą pochodzić z zastosowania środków ochrony roślin zawierających związki arsenu. Na wzrost zawartości najbardziej mobilnych frakcji arsenu w powierzchniowych poziomach gleb użytkowanych rolniczo zwracało uwagę wielu autorów (Mandal i in. 1998, Chatterjee i in. 1999, Stalikas i in. 1999, Folkes i in. 2001). Innym źródłem frakcji *As-roz* w glebach Lublina są także zanieczyszczenia przemysłowe, szczególnie wyraźnie zaznaczone w próbkach powierzchniowych profili zlokalizowanych w pobliżu zakładów przemysłowych. Omawiana frakcja *As-roz* wykazuje istotną silną dodatnią korelację z węglem organicznym (C-org.) ($r = 0,64^{**}$), sumą kationów o charakterze zasadowym (S) ($r = 0,61^{**}$), oraz zawartością całkowitą Ca-*t* i wymienną wapnia Ca-*wym* ($r = 0,63^{**}$, $r = 0,56^{**}$) (tab. 6). Analiza statystyczna wykazuje także związek pomiędzy zawartością *As-roz*, a profilowym rozmieszczeniem niektórych tlenków pedogenicznych. Istotną ujemną korelację o średnim natężeniu wykazuje Al-*d* i Al-*p* ($r = -0,46^{**}$, $r = -0,47^{**}$). Otrzymane wyniki analizy statystycznej potwierdzają charakterystykę najbardziej mobilnej frakcji arsenu, w której pierwiastek jest niespecyficznie związany na powierzchni cząstek materii organicznej, uwodnionych tlenków i wodorotlenków (Wenzel i in. 2001).

Omawiana frakcja arsenu wykazuje z reguły słabe zależności pomiędzy jej rozkładem profilowym, a zawartością poszczególnych grup granulometrycznych. Istotna dodatnia korelacja o średnim natężeniu występuje pomiędzy *As-roz*, a frakcją piasku (1-0,1 mm) ($r = 0,35^{**}$), natomiast brak istotnej korelacji pomiędzy omawianą frakcją arsenu, zawartością łu koloidalnego (<0,002 mm) ($r = -0,31^{**}$) (tab. 6).

Związki arsenu specyficznie zaadsorbowane na powierzchni cząstek materii organicznej, uwodnionych tlenków i wodorotlenków oraz łu koloidalnego, a także wbudowane w strukturę minerałów węglanowych stanowią frakcję wyekstrahowaną przez $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ (Wenzel i in. 2001). W toku wielu doświadczeń stwierdzono dużą skuteczność i selektywność kwaśnego fosforanu amonu w ekstrakowaniu *As-wym* z różnych gleb (Han i Banin 1995, Wenzel i in. 2001, Zeien i Brümmer 1989).

Wynika to z podobnej konfiguracji elektronowej, podobnej zdolności do tworzenia kwasów trójprotonowych i zbliżonych stałych dysocjacji. Implikuje to z punktu widzenia zdolności ekstrakcyjnych użytego odczynnika, że przy równych stężeniach jony fosforanowe wygrywają współzawodnictwo z arsenianowymi, ponieważ mają większą gęstość ładunku i są mniejsze.

Zjawisko współzawodnictwa fosforanów i arsenianów sorbujących się na powierzchni różnych minerałów była w literaturze szeroko opisana (Jackson i Miller 2000, Lin i Puls 2000, Goldberg 2002, Violante i Pigna 2002).

As-wym nie jest silnie związany w glebie i może ulegać desorpcji na skutek zmiany pH lub mocy jonowej roztworów ekstrakcyjnych kontaktujących się z glebą.

Fracja wyekstrahowanego arsenu przez kwaśny fosforan amonu reprezentuje około 8% z puli całkowitej zawartości arsenu i w pewnych warunkach jest dostępna dla roślin. Ta forma arsenu może być potencjalnie uruchamiana poprzez zmianę pH, wapnowanie lub dodanie związków fosforu podczas nawożenia gleb lub w wyniku ich zanieczyszczeń (Wenzel i in. 2001). Frakcja wymienna arsenu *As-wym* wykazuje istotną silną dodatnią korelację z zawartym w glebach węglanem wapnia (CaCO_3) ($r = 0,72^{**}$), sumą kationów o charakterze zasadowym (S) ($r = 0,61^{**}$), oraz zawartością całkowitą wapnia *Ca-t* i wapnia wymiennego *Ca-wym* ($r = 0,76^{**}$, $r = 0,61^{**}$) (tab. 6). Istotną statystycznie dodatnią korelację o średnim natężeniu obserwujemy pomiędzy zawartością *As-wym*, a *Fe-t* ($r = 0,55^{**}$), oraz *Fe-d* ($r = 0,50^{**}$) (tab. 6). Omawiana frakcja wykazuje większą współzależność z sumą kationów o charakterze zasadowym (S), z zawartością wapnia wymiennego *Ca-wym* i z zawartością całkowitą wapnia *Ca-t* w porównaniu do frakcji *As-roz*. Analiza statystyczna wykazała silną, dodatnią korelację pomiędzy *As-wym*, a zawartością As^{5+} i zawartością ogólną *As-t* ($r = 0,64^{**}$, $r = 0,67^{**}$). Powyższe statystyczne współzależności należy tłumaczyć właściwościami czynnika ekstrahującego frakcję wymienną, $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} (\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$. Występujący w nadmiarze jon di-wodorofosforanowy podstawia się za jony arsenianowe specyficznie zaadsorbowane na powierzchni cząstek materii organicznej, uwodnionych tlenków i wodorotlenków oraz iłu koloidalnego, a także wbudowanych w strukturę minerałów węglanowych (Goldberg 2002, Wenzel i in. 2001). Omawiana frakcja arsenu wykazuje z reguły słabe korelację pomiędzy jej rozkładem profilowym, a zawartością poszczególnych grup granulometrycznych. Istotna dodatnia korelacja o średnim natężeniu występuje pomiędzy *As-wym*, a frakcją iłu pyłowego drobnego (0,005-0,002 mm) ($r = 0,50^{**}$) i iłu koloidalnego (<0,002 mm) ($r = 0,46^{**}$) (tab. 6). W glebach Lublina charakteryzujących się odczynem kwaśnym obecne są silne korelacje pomiędzy zawartością *As-wym*, a frakcją piasku (1-0,1 mm) ($r = -0,59^{**}$) i frakcją iłu koloidalnego (<0,002 mm) ($r = 0,76^{**}$) (tab. 9). Podobne zależności występują w grupie gleb charakteryzujących się odczynem obojętnym i zasadowym (tab. 10). Należy zaznaczyć, że w glebach Lublina charakteryzujących się odczynem kwaśnym omawiana frakcja arsenu jest istotnie, silnie, skorelowana z *Fe-t* i *Fe-d* ($r = 0,71^{**}$, $r = 0,75^{**}$) natomiast średnio skorelowana z *Fe-o* ($r = 0,53^{**}$). Analiza statystyczna wykazała także korelację pomiędzy *As-wym*, a *Al-t* i *Al-o* ($r = 0,58^{**}$, $r = 0,41^{**}$) (tab. 9). W glebach obojętnych i zasadowych *As-wym* silniej koreluje z formą ditionitową *Al-d* ($r = 0,71^{**}$) i szczawianową *Al-o* ($r = 0,78^{**}$), natomiast korelacje *As-wym* do *Fe-t* i *Fe-d* są słabsze niż w glebach kwaśnych ($r = 0,61^{**}$, $r = 0,50^{**}$). W glebach o odczynie obojętnym i alkalicznym, zostały wyznaczone istotne statystycznie współczynniki korelacji *As-wym* i zawartości węglanu wapnia (CaCO_3), zawartości ogólnej wapnia *Ca-t*, wapnia wymiennego *Ca-wym*, sumy kationów o charakterze zasadowym (S), pojemności sorpcyjnej (T) i węgla organicznego (C-org.) (tab. 10). W glebach

kwaśnych te korelacje nie występują (tab. 9). Frakcje arsenu łatwo rozpuszczalnego *As-roz* i wymiennego *As-wym* stanowią w glebie formy tego pierwiastka łatwo dostępne dla mikroorganizmów, roślin i zwierząt (Wenzel i in. 2001). Ich zawartość zależy od typu i ilości sorbujących komponentów, oraz pH. W glebach zasadowych i obojętnych Lublina zawartość *As-roz* i *As-wym* jest z reguły wyższa niż w glebach charakteryzujących się odczynem kwaśnym. Powyższe prawidłowości potwierdzają prace nad właściwościami gleb wpływającymi na ruchliwość arsenu (Woolson i in. 1973). Badania wpływu użytkowania gleb na zawartość i rozmieszczenie *As-wym* przeprowadzone na profilach gleb płowych pobranych z pola i lasu w Lublinie i Czesławicach nie pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że odgrywa on ważną rolę. Należy jednak zaznaczyć, że zawartość *As-wym* jest zwykle największa w powierzchniowych poziomach gleb Lublina, poziomach poddanych najsilniejszej antropopresji.

Frakcja ekstrahowana buforem szczawianowym o pH 3,25, *As-am*, obejmuje związki arsenu związane się amorficznymi i słabo-krystalicznymi uwodnionymi tlenkami żelaza, glinu i manganu (Wenzel i in. 2001). Obok frakcji rezydualnej *As-rez* i frakcji krystalicznej *As-kr* jest najliczniej reprezentowana w puli ogólnego arsenu. Jej średni udział wynosi ponad 30%. Analiza statystyczna wykazała, że profilowe rozmieszczenie *As-am* jest silnie skorelowane z *Fe-t*, *Fe-d* i *Fe-o* ($r = 0,87^{**}$, $r = 0,79^{**}$, $r = 0,76^{**}$). Omawiana frakcja arsenu w mniejszym stopniu koreluje z formami glinu *Al-d* i *Al-o* ($r = 0,30^{**}$, $r = 0,52^{**}$), natomiast brak jest istotnych korelacji pomiędzy *As-am*, a formami manganu (*Mn-t*, *Mn-d*, *Mn-o*, *Mn-p*) (tab. 6). Współczynniki korelacji pomiędzy *As-am*, a formami żelaza (*Fe-t*, *Fe-d* i *Fe-o*), mają zbliżone wartości zarówno w glebach charakteryzujących się odczynem kwaśnym, obojętnym i zasadowych. Natomiast w glebach kwaśnych zaznacza się silniejsza korelacja *As-am*, z zawartością *Al-t* i *Al-o*, oraz frakcji koloidalnej (<0,002 mm) w porównaniu do gleb obojętnych i alkalicznych (tab. 9, 10). Należy także stwierdzić, że w glebach Lublina pochodzenia antropogenicznego współczynniki korelacji pomiędzy *As-am*, a zawartością *Fe-t*, *Fe-d* i *Fe-o* przyjmują mniejsze wartości w stosunku do pozostałych gleb, nie wytworzonych przez człowieka. Frakcja *As-am* w urbanizowanych terenach silniej koreluje z *Al-d* i *Al-o* niż pozostałe gleby (tab. 7, 8).

Zróżnicowana rozpuszczalność uwodnionych tlenków żelaza niezwiązanych z krzemianami była wykorzystana do wydzielenia form krystalicznych żelaza. Do związków żelaza w glebie występujących w formie krystalicznej należą: getyt, hematyt, lepidokrokit, magnetyt, maghemit oraz o słabym uporządkowaniu krystalicznym ferryhydrit (Melke 1997). Związki arsenu współstrącające się ze związkami żelaza, a ekstrahowane w warunkach obniżonego potencjału utleniająco-redukującego zostały wydzielone we frakcji tzw. krystalicznej (*As-kr*). W sekwencyjnej analizie do ekstrakcji wykorzystano bufor szczawianowy o pH 3,25 w obecności kwasu askorbinowego jako reduktora. Analizę prowadzono w temperaturze 96°C (Wenzel i in. 2001). Frakcja *As-kr* w puli ogólnego arsenu stanowi średnio ponad 26%.

Analiza statystyczna wykazała, że zawartość *As-kr* jest silnie skorelowana z *Fe-t*, *Fe-d* i *Fe-kr* oraz *Al-o*, natomiast korelacja w stosunku do tych samych form żelaza i glinu jest słabsza niż w przypadku frakcji *As-am* (tab. 6). Można również stwierdzić, że *As-am* w porównaniu do pozostałych wydzielonych frakcji wykazuje najsilniejsze powinowactwo do różnych form żelaza i glinu obecnych w glebie. Wykazano natomiast bardzo silną korelację pomiędzy *As-kr*, a frakcją łu koloidalnego (<0,002 mm) ($r = 0,73^{**}$), wyższą niż współczynnik korelacji pomiędzy *As-am* i łem koloidalnym (< 0,002 mm) ($r = 0,51^{**}$) (tab. 6). Frakcja *As-kr* wykazuje także dodatnią, istotną statystycznie korelację z obecnym w niektórych glebach węglanem wapnia ($r = 0,56^{**}$) (tab. 6). W glebach antropogenicznych Lublina analiza statystyczna wykazała, że współczynniki korelacji pomiędzy *As-kr*, a profilowym rozmieszczeniem *Fe-t*, *Fe-d* i *Fe-o* są mniejsze lub nie wykazują istotnej statystycznie korelacji w stosunku do pozostałych gleb Lublina (tab. 7, 8). W glebach Lublina charakteryzujących się odczynem kwaśnym frakcja *As-kr* bardzo silnie koreluje z zawartością *Fe-t*, *Fe-d* i *Fe-kr*, a silnie z *Fe-o*. Spośród wydzielonych form żelaza najwyższy współczynnik korelacji wykazano pomiędzy omawianą frakcją

Tabela 7. Współczynniki korelacji (r) między zawartością badanych form arsenu a wybranymi cechami fizykochemicznymi w glebach Lublina nie wytworzonych przez człowieka

Table 7. Correlation coefficients (r) between the content of arsenic forms investigated and chosen physicochemical features in the soils of Lublin not created by human

	<i>As-t</i>	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
<i>As</i> ³⁺						
<i>As</i> ⁵⁺	0,98	-0,37	0,55	0,90	0,77	0,73
<i>As-roz</i>	-0,35			-0,37	-0,26	-0,30
<i>As-wym</i>	0,59			0,46	0,80	0,38
<i>As-am</i>	0,87	-0,37	0,46		0,59	0,75
<i>As-kr</i>	0,81	-0,26	0,80	0,59		0,49
<i>As-rez</i>	0,74	-0,30	0,38	0,75	0,49	
<i>As-t</i>	1,00	-0,35	0,59	0,87	0,81	0,74
pH _{H₂O}	-0,29					-0,63
pH _{KCl}	-0,49	0,46				-0,48
% CaCO ₃	0,43		0,74		0,74	0,47
% C-org.	-0,25	0,51				
Ca-wym		0,42	0,42			

Tabela 7. cd.
Table 7. Cont.

	<i>As-t</i>	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
<i>Mg-wym</i>	-0,29	0,48		-0,28	-0,29	
<i>Na-wym</i>	0,27		0,66		0,64	0,28
<i>K-wym</i>						
<i>S</i>		0,44	0,40			
<i>H-wym</i>						
<i>T</i>		0,40	0,34			
<i>V</i>		0,41	0,28			
<i>Ca-t</i>		0,77				
<i>Mg-t</i>	0,55				0,60	
<i>Na-t</i>	0,45		0,76		0,58	
<i>K-t</i>	0,84		0,54	0,71	0,91	0,42
<i>Mn-t</i>						
<i>Mn-d</i>						
<i>Mn-o</i>						
<i>Mn-p</i>						
<i>Fe-t</i>	0,84	-0,35	0,46	0,84	0,63	0,58
<i>Fe-d</i>	0,90	-0,35	0,54	0,91	0,75	0,81
<i>Fe-o</i>	0,61		0,28	0,79	0,30	0,83
<i>Fe-p</i>		0,28				
<i>Fe-kr</i>	0,90	-0,34	0,58	0,77	0,85	0,61
<i>Al-t</i>			0,43		0,47	
<i>Al-d</i>	0,59	-0,46		0,60	0,44	0,57
<i>Al-o</i>	0,71	-0,38	0,43	0,73	0,61	0,82
<i>Al-p</i>	0,48	-0,44		0,58		0,41
% 1-0,1 cm	-0,69	0,41	-0,40	-0,83	-0,49	-0,58
% 0,1-0,05 cm	0,45		0,44	0,43	0,43	
% 0,05-0,02 cm	0,49	-0,42		0,71	0,28	0,45
% 0,02-0,005 cm	0,51	-0,32	0,29	0,74	0,28	0,49
% 0,005-0,002 cm	0,44		0,41	0,54	0,34	0,32
< 0,002 cm	0,88	-0,38	0,62	0,86	0,82	0,81

**Korelacje istotne przy $p < 0,05$, $n = 49$.
Correlations are significant at $p < 0,05$, $n = 49$.

arsenu, a frakcją *Fe-kr* ($r = 0,95^{**}$) (tab. 9). W glebach o odczynie obojętnym i alkalicznym zależność pomiędzy *As-kr*, a żelazem ogólnym i wydzielonym formami żelaza nie są tak wyraźne (tab. 10).

Związki arsenu wbudowane w sieć krystaliczną najtrwalszych minerałów glebowych (glinokrzemiany, krzemiany), niedostępne w warunkach naturalnych stanowią frakcję rezydualną (*As-rez*) (Wenzel i in. 2001). W toku sekwencyjnej analizy frakcja ta jest ekstrahowana na gorąco wodą królewską. W glebach Lublina stanowi ona średnio około 32% i ma największy udział w puli arsenu ogólnego. Analiza statystyczna wykazała, że profilowe rozmieszczenie *As-rez* było istotnie silnie dodatnio skorelowane z *Fe-t* i *Fe-d* ($r = 0,56^{**}$ dla obu form) oraz średnio z *Fe-o* ($r = 0,47^{**}$). Frakcja *As-rez* koreluje także z *Al-d* ($r = 0,44^{**}$) i silniej z *Al-o* ($r = 0,74^{**}$) (tab. 6). Zależności pomiędzy *As-rez*, a formami manganu (*Mn-t*, *Mn-d*, *Mn-o*, *Mn-p*) i zawartością węgla organicznego (*C-org.*) nie wykazują istotnych statystycznie korelacji. Otrzymane wyniki analizy statystycznej, obejmujące wszystkie badane profile glebowe, potwierdzają charakterystykę najmniej mobilnej frakcji arsenu, w której pierwiastek jest wbudowany w sieć krystaliczną glinokrzemianów i krzemianów. Świadczą o tym m.in. niższe wartości współczynników korelacji lub brak istotnej korelacji pomiędzy *As-rez*, zawartością ogólną żelaza (*Fe-t*) i glinu (*Al-t*), a także silna dodatnia korelacja pomiędzy *As-rez*, a frakcją łu koloidalnego ($<0,002$ mm) ($r = 0,69^{**}$) (tab. 6). Brak istotnych statystycznie korelacji pomiędzy *As-rez*, a większością form żelaza i glinu występuje w glebach antropogenicznych, natomiast powyższa prawidłowość nie jest obserwowana w pozostałych profilach (tab. 7, 8). W glebach kwaśnych Lublina najmocniej korelują z frakcją *As-rez*, formy *Fe-o* i *Al-o* ($r = 0,85^{**}$, $r = 0,83^{**}$), natomiast w glebach obojętnych i alkalicznych *Fe-t* oraz *Fe-d* ($r = 0,75^{**}$, $r = 0,63^{**}$). Gleby kwaśne charakteryzują się wyższą korelacją *As-rez* do frakcji łu koloidalnego ($<0,002$ mm) ($r = 0,83^{**}$), w porównaniu do gleb obojętnych i alkalicznych ($r = 0,47^{**}$) (tab. 9, 10).

Analiza statystyczna wykazała zróżnicowane zależności pomiędzy profilowym rozmieszczeniem zawartości arsenu ogólnego *As-t*, a wydzielonymi w toku sekwencyjnej ekstrakcji frakcjami arsenu. Najmocniej z zawartością arsenu ogólnego koreluje frakcja amorficzna *As-am*, a najslabiej frakcja wymienna *As-wym*. Oznaczone współczynniki korelacji układają się według następującego porządku:

$As-wym$ ($r = 0,67^{**}$) $<$ $As-rez$ ($r = 0,75^{**}$) $<$ $As-kr$ ($r = 0,80^{**}$) $<$ $As-am$ ($r = 0,81^{**}$) (tab. 6). Korelacja pomiędzy zawartością *As-t*, a frakcją *As-roz* jest nieistotna statystycznie. Zbadano także siłę powiązań pomiędzy wydzielonymi frakcjami arsenu, a grupami granulometrycznymi. Okazało się, że związki arsenu zawarte w glebie wykazują największe powinowactwo do frakcji koloidalnej ($<0,002$ mm).

Najsilniej z frakcją koloidalną korelowała frakcja *As-kr*, a najslabiej frakcja wymienna *As-wym*. współczynniki korelacji układają się według następującego porządku:

$As-wym$ ($r = 0,47^{**}$) < $As-am$ ($r = 0,51^{**}$) < $As-rez$ ($r = 0,69^{**}$) < $As-kr$ ($r = 0,73^{**}$) (tab. 6). Korelacja pomiędzy zawartością iłu koloidalnego, a frakcją *As-roz* była nieistotna statystycznie. Wydzielone frakcje arsenu (*As-am*, *As-kr*, *As-rez*) wykazywały także istotną ujemną korelację w stosunku do frakcji piaski (1-0,1 mm) ($r = -0,43^{**}$, $r = -0,36^{**}$, $r = -0,44^{**}$) (tab. 6). Korelacja frakcji wymiennej *As-wym* z frakcją piasku (1-0,1 mm) była nieistotna statystycznie, natomiast najbardziej mobilna frakcja łatworozpuszczalna arsenu *As-roz* wykazywała w stosunku do frakcji piasku istotną statystycznie korelację dodatnią ($r = 0,35^{**}$) (tab. 6). Takie zachowanie form arsenu w stosunku do wydzielonych z badanych gleb grup granulometrycznych nie odbiega znacząco od zachowania innych pierwiastków (Uziak i in. 2005). Przeprowadzone badania pozwoliły na dokładniejsze poznanie zawartości różnych form arsenu oraz ich wzajemnych zależności w glebach miasta Lublina. Potwierdziły również, że gleby znajdujące się w granicach aglomeracji miejskiej są poddawane antropopresji o różnym stopniu nasilenia i wykazują duże zróżnicowanie pod względem morfologii i właściwości fizykochemicznych.

Tabela 8. Współczynniki korelacji (r) między zawartością badanych form arsenu a wybranymi cechami fizykochemicznymi w glebach antropogenicznych Lublina

Table 8. Correlation coefficients (r) between the content of arsenic forms investigated and chosen physicochemical features in the anthropogenic soils of Lublin

	<i>As-t</i>	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
As^{3+}			0,55	0,68		
As^{5+}	0,98		0,64	0,53	0,80	0,75
<i>As-roz</i>			0,55			
<i>As-wym</i>	0,68	0,55		0,72		0,69
<i>As-am</i>	0,61		0,72			0,57
<i>As-kr</i>	0,81					
<i>As-rez</i>	0,80		0,69	0,57		
<i>As-t</i>			0,68	0,61	0,81	0,80
pH _{H₂O}						
pH _{KCl}	-0,53					
% CaCO ₃			0,60			
% C-org.		0,51	0,60	0,73		
Ca-wym			0,70		0,68	0,56

Tabela 8. cd.
Table 8. Cont.

	<i>As-t</i>	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
<i>Mg-wym</i>						
<i>Na-wym</i>					0,61	
<i>K-wym</i>		0,60				
<i>S</i>			0,79			
<i>H-wym</i>						
<i>T</i>			0,79			
<i>V</i>						
<i>Ca-t</i>			0,63			
<i>Mg-t</i>	0,66		0,67	0,69	0,63	
<i>Na-t</i>	0,62		0,53	0,70	0,72	
<i>K-t</i>						
<i>Mn-t</i>	0,44			0,77		
<i>Mn-d</i>						
<i>Mn-o</i>						
<i>Mn-p</i>	-0,54					
<i>Fe-t</i>	0,74			0,84	0,54	0,52
<i>Fe-d</i>	0,58			0,65		
<i>Fe-o</i>	0,54			0,77		
<i>Fe-p</i>	-0,49	0,55				
<i>Fe-kr</i>	0,22			0,27		
<i>Al-t</i>	-0,58					
<i>Al-d</i>	0,57			0,78		
<i>Al-o</i>	0,49		0,59	0,83	0,67	0,53
<i>Al-p</i>						
% 1-0,1 cm						
% 0,1-0,05 cm	-0,45					
% 0,05-0,02 cm						
% 0,02-0,005 cm						
% 0,005-0,002 cm						
< 0,002 cm						

**Korelacje istotne przy $p < 0,05$, $n = 30$.
 Correlations are significant at $p < 0,05$, $n = 30$.

Tabela 9. Współczynniki korelacji (r) między zawartością badanych form arsenu a wybranymi cechami fizykochemicznymi w glebach Lublina charakteryzujących się odczynem kwaśnym
Table 9. Correlation coefficients (r) between the content of arsenic forms investigated and chosen physicochemical features in the soils of Lublin characterized by acid reaction

	<i>As-t</i>	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
As^{3+}		0,74				
As^{5+}	0,99		0,72	0,89	0,91	0,68
<i>As-roz</i>				-0,42		
<i>As-wym</i>	0,73			0,75	0,77	0,67
<i>As-am</i>	0,90	-0,42	0,75		0,81	0,69
<i>As-kr</i>	0,92		0,77	0,81		0,65
<i>As-rez</i>	0,72		0,67	0,69	0,65	
<i>As-t</i>			0,73	0,90	0,92	0,72
pH _{H₂O}			-0,56		-0,37	-0,71
pH _{KCl}	-0,56		-0,45	-0,54	-0,49	-0,36
% CaCO ₃						
% C-org.		0,52				
Ca-wym		0,74				
Mg-wym	0,51			0,40	0,45	
Na-wym						
K-wym		0,87				
S		0,73				
H-wym		0,72				
T		0,80				
V	0,73		0,64	0,70	0,67	0,50
Ca-t		0,85		-0,48		
Mg-t	0,84		0,73	0,71	0,92	0,50
Na-t	0,50		0,68		0,65	0,55
K-t	0,84		0,64	0,72	0,91	0,43
Mn-t		0,63				
Mn-d		0,76				
Mn-o		0,78				
Mn-p	-0,40	0,81	-0,39	-0,45	-0,38	
Fe-t	0,85		0,71	0,80	0,92	0,46
Fe-d	0,91		0,75	0,92	0,90	0,79

Tabela 9. cd.
Table 9. Cont.

	<i>As-t</i>	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
<i>Fe-o</i>	0,66		0,53	0,74	0,51	0,85
<i>Fe-p</i>						
<i>Fe-kr</i>	0,85	-0,23	0,71	0,80	0,95	0,54
<i>Al-t</i>	0,80		0,58	0,76	0,80	0,67
<i>Al-d</i>	0,28					0,45
<i>Al-o</i>	0,57		0,41	0,60	0,46	0,83
<i>Al-p</i>	0,42			0,37		
% 1-0,1 cm	-0,71		-0,59	-0,73	-0,62	-0,45
% 0,1-0,05 cm						
% 0,05-0,02 cm	0,54		0,52	0,54	0,50	
% 0,02-0,005 cm	0,53		0,39	0,62	0,35	0,35
% 0,005-0,002 cm	0,35			0,38		
< 0,002 cm	0,91		0,76	0,91	0,86	0,83

**Korelacje istotne przy $p < 0,05$ $n = 29$. Correlations are significant at $p < 0.05$, $n = 29$.

Tabela 10. Współczynniki korelacji (r) między zawartością badanych form arsenu a wybranymi cechami fizykochemicznymi w glebach Lublina charakteryzujących się odczynem obojętnym lub zasadowym

Table 10. Correlation coefficients (r) between the content of arsenic forms investigated and chosen physicochemical features in the soils of Lublin characterized by neutral or alkaline reaction

	<i>As-t</i>	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
As^{3+}	0,59	0,47	0,51	0,78		0,60
As^{5+}	0,98		0,77	0,77	0,75	0,87
<i>As-roz</i>						
<i>As-wym</i>	0,79		1,00	0,70	0,78	0,72
<i>As-am</i>	0,78	0,33	0,70	1,00	0,50	0,79
<i>As-kr</i>	0,80		0,78	0,50	1,00	0,60
<i>As-rez</i>	0,88		0,72	0,79	0,60	1,00
<i>As-t</i>	1,00		0,79	0,78	0,80	0,88
pH_{H_2O}	-0,24					
pH_{KCl}	-0,46		-0,36	-0,66		-0,60
% $CaCO_3$	0,33		0,72	0,43	0,56	0,37
% C-org.		0,55	0,44	0,65		

Tabela 10. cd.
Table 10. Cont.

	<i>As-t</i>	<i>As-roz</i>	<i>As-wym</i>	<i>As-am</i>	<i>As-kr</i>	<i>As-rez</i>
<i>Ca-wym</i>	0,37		0,57	0,55	0,39	0,52
<i>Mg-wym</i>		0,33				
<i>Na-wym</i>	0,40		0,53		0,73	0,37
<i>K-wym</i>	0,32	0,38	0,47	0,57	0,31	0,45
<i>S</i>	0,35	0,32	0,57	0,54		0,43
<i>H-wym</i>	0,29		0,61	0,61	0,41	0,44
<i>T</i>	0,35	0,32	0,58	0,55		0,44
<i>V</i>						
<i>Ca-t</i>						
<i>Mg-t</i>						
<i>Na-t</i>						
<i>K-t</i>						
<i>Mn-t</i>	0,43		0,53	0,87	0,35	0,60
<i>Mn-d</i>			0,37	0,66		0,41
<i>Mn-o</i>				0,62		0,36
<i>Mn-p</i>	-0,36					
<i>Fe-t</i>	0,77		0,61	0,90	0,53	0,75
<i>Fe-d</i>	0,65		0,50	0,78	0,47	0,63
<i>Fe-o</i>	0,51		0,37	0,79		0,52
<i>Fe-p</i>	-0,30					
<i>Fe-kr</i>	0,57			0,53	0,52	0,52
<i>Al-t</i>					0,31	
<i>Al-d</i>	0,47		0,71	0,45	0,65	0,49
<i>Al-o</i>	0,55		0,78	0,56	0,84	0,61
<i>Al-p</i>				0,50		
% 1-0,1 cm			-0,57	-0,32	-0,39	-0,32
% 0,1-0,05 cm			0,44		0,33	
% 0,05-0,02 cm						
% 0,02-0,005 cm						
% 0,005-0,002 cm	0,28	0,38	0,69	0,57	0,33	0,41
< 0,002 cm	0,54		0,68	0,31	0,81	0,47

**Korelacje istotne przy $p < 0,05$ $n = 50$. Correlations are significant at $p < 0,05$, $n = 50$.

6. WNIOSKI

1. W badanych glebach Lublina nie zostały przekroczone normy dotyczące dopuszczalnej zawartości arsenu w glebie z grupy użytkowej B, do której należą m.in. gleby użytkowane rolniczo.

2. Największa koncentracja arsenu w powierzchniowych poziomach i warstwach większości badanych gleb Lublina dowodzi silnego wpływu działalności człowieka na zachowanie badanego pierwiastka.

3. Średnia zawartość sumy frakcji łatwo rozpuszczalnej *As-roz* i frakcji wymiennej *As-wym* stanowiących pulę arsenu dostępną dla mikroorganizmów i roślin w glebach Lublina wynosi około 11% arsenu ogólnego. Na podstawie tych danych można stwierdzić, że nie ma realnego zagrożenia skażeniem arsenu gleb Lublina i przedostawania się tego pierwiastka do organizmów ludzi i zwierząt.

4. W glebach charakteryzujących się dużą zawartością frakcji piasku, a niewielkim udziałem frakcji koloidalnej i próchnicy arsen występuje zwykle w formach bardziej mobilnych.

5. Największy udział w puli ogólnej arsenu mają frakcje *As-am* (związana z amorficznymi i słabo-kryształicznymi uwodnionymi tlenkami żelaza) i *As-kr* (związana z kryształicznymi, uwodnionymi tlenkami żelaza, obejmuje związki arsenu współstrącające się ze związkami Fe, a uruchamianymi w warunkach obniżonego potencjału utleniająco-redukującego). Z uwagi na niewielką mobilność tych frakcji, tlenki żelaza zawarte w glebie mogą stanowić skuteczną barierę dostępności tego pierwiastka dla mikro i makroorganizmów glebowych i w przedostawaniu się go do wód gruntowych.

6. Potwierdzona analizą statystyczną silna współzależność pomiędzy najbardziej mobilną frakcją arsenu *As-roz*, a As^{3+} może stanowić cenną informację w ocenie ryzyka przedostawania się z gleby do mikro i makroorganizmów najbardziej toksycznych związków arsenu.

7. Wpływ użytkowania na zawartość i rozmieszczenie arsenu jest zmienny. Poziomy próchniczne gleby uprawnych cechują się z reguły większą koncentracją arsenu ogólnego i wydzielonych form aniżeli gleby leśne tego samego typu. Powyższą prawidłowość stwierdzono zarówno w glebach płowych znajdujących się w granicach administracyjnych miasta jak i w profilach porównawczych pobranych w Czesławicach koło Nałęczowa.

8. W glebach Lublina charakteryzujących się dużym zróżnicowaniem typologicznym, zawartość i rozmieszczenie arsenu ogólnego oraz jego form jest wypadkową czynników naturalnych i wpływu antropopresji.

9. Wpływ skały macierzystej na zawartość i rozmieszczenie arsenu jest najwyraźniejszy w glebach antropogenicznych Lublina.

10. Pierwszy etap sekwencyjnej ekstrakcji arsenu z gleby, mógłby znaleźć zastosowanie w szybkiej i prostej procedurze ekstrakcji pojedynczej, która służyłaby do określenia biodostępności toksycznego pierwiastka jakim jest arsen.

7. PIŚMIENNICTWO

- Acharyya S.K., Lahiri S., Bhowmik A., 2000. Arsenic toxicity of groundwater in parts of the Bengal basin in India and Bangladesh. The role of Quaternary stratigraphy and Holocene level fluctuation. *Environmental Geology*, 39, 1127-1137.
- Armienta M., Villasen G., Rodriguez R., Ongley L., Mango H., 2001. The role of arsenic-bearing rocks in groundwater pollution at Zimapán Valley, México. *Environmental Geology*, 40, 571-581.
- Arunachalam J., Emons H., Krasnodębska B., Mohl C., 1996. Sequential extraction studies on homogenized forest soil samples. *The Science of the Total Environment*, 181, 147-159.
- Badach A., Gluza A.F., Kaszewski B.M., Niedziałek H., 1985. Temperatura powietrza w Lublinie w latach 1951-1980. *Annales UMCS sec. B*, 40, 25-37.
- Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Oleszczuk P., Baranowska E., Karaś A., 2003. Okresowe badania jakości ziemi i gleby miasta Lublina. Wyd. LFOŚN, Lublin.
- Blaser P., Zimmerman S., Luster J., Shotyk W., 2000. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils. As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in Swiss forest soils. *The Science of the Total Environment*, 249, 257-280
- Burguera M., Burguera J.L., 1997. Analytical methodology for speciation of arsenic in environmental and biological samples. *Talanta*, 44, 1581-1604.
- Cappuyns V., Van Herreweghe S., Swennen R., Ottenburgs R., Deckers J., 2002. Arsenic pollution at the industrial site of Reppel-Bocholt (north Belgium). *The Science of the Total Environment*, 295, 217-240.
- Carbonell-Barrachina A., Jugsuijnda A., DeLaune R.D., Patrick W.H. Jr., 1999. The influence of redox chemistry and pH on chemically active forms of arsenic in sewage sludge-amended soil. *Environment Int.*, 25, 613-618.
- Chałubińska A., 1956. Gęstość sieci wodnej w Polsce. *Annales UMCS, sec. B*, 9, 47-97.
- Chang S.C., Jackson M.L., 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, 84(2), 133-144.
- Chappell J., Chiswell B., Olszowy H., 1995. Speciation of arsenic in contaminated soil by solvent extraction. *Talanta*, 42, 323-329.
- Chatterjee A., Mukherjee A., 1999. Hydrogeological investigation of ground water arsenic contamination in South Calcutta. *The Science of the Total Environment*, 225, 249-262.
- Chen M., Ma L.Q., Harris W.G., 2002. Arsenic concentrations in Florida surface soils . influence of soil type and properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66, 632-640.
- Chen M., Ma L.Q., 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 491-499.
- Chirenje T., Ma L.Q., Chen M., Zillioux E.J., 2003. Comparison between background concentrations of arsenic in urban and non-urban areas of Florida. *Advances in Environmental Research*, 8, 137-146.
- Chirenje T., Ma L.Q., Zillioux E., 2002. Determining arsenic distribution in urban soils. a comparison with nonurban soils. *The Scientific World J.*, 2, 1404-1417.
- Chirenje T., Ma L.Q., Szulczewski M., Littell R., Portier K., M., Zillioux E., 2003. Arsenic distribution in Florida Urban Soils. comparison between Gainesville and Miami. *J. Environmental Quality*, 32, 109-119.

- Daus B., Mattusch J., Paschke A., Wennrich R., Weiss H., 2000. Kinetics of the arsenite oxidation in seepage water from a tin mill tailings pond. *Talanta*, 51, 1087-1095.
- Domkröger G., Grote M., Janssen E., 1997. Comparison of sample digestion procedures for the determination of arsenic in certified marine samples using the FI-HG-AAS. *Fresenius J. Analytical Chemistry*, 357, 817-821.
- European Union, 1998 Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*, 333, 32-54.
- Fijałkowski D., 1996. Szata roślinna Lubelszczyzny. Wyd. LTN, Lublin.
- Folkles D.J., Kuehster T.E., Litle R.A., 2001. Contributions of pesticide use to urban background concentrations of arsenic in Denver, Colorado, U.S.A. *Environmental Forensics*, 2, 127-139.
- Frankenberger W.T., Jr., 2002. *Environmental Chemistry of Arsenic*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Garcia-Manyes S., Jimenez G., Padro A., Rubio R., Rauret G., 2002. Arsenic speciation in contaminated soils. *Talanta* 58, 97-109.
- Goldberg S., 2002. Competitive adsorption of arsenate and arsenite on oxides and clay minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66, 413-421.
- Gołofit P., Piątkowski W., 1999. Raport o stanie środowiska miasta Lublina za rok 1998. Wyd. Graf, Lublin.
- Gong Z., Lu X., Ma M., Watt C., Le Ch., 2002. Arsenic speciation analysis. *Talanta* 58, 77-96.
- Guidelines for Drinking Water Quality 2nd ed, 1994. Vol. 1, World Health Organization, Geneva.
- Han F.X., Banin A., 1995. Selective sequential dissolution techniques for trace metals in arid-zone soils. the carbonate dissolution step. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26(3/4), 553-576.
- Harasimiuk M., Henkiel A., 1982. *Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000*, arkusz Lublin, Wyd. Geol., Warszawa.
- Hudson T.L., Borden J.C., Russ M., Bergstrom P.D., 1997. Controls on As, Pb, and Mn distribution in community soils of an historical mining district, southwestern Colorado. *Environmental Geology*, 33(1), 25-42.
- Jackson B.P., Miller W.P., 2000. Effectiveness of phosphate and hydroxide for desorption of arsenic and selenium species from iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, 1616-1622.
- Jędrzejczak R., 1994. *Metody oznaczania arsenu i selenu w materiale biologicznym. W: Arsen i selen w środowisku, problemy ekologiczne i metodyczne (Red. Kabata-Pendias A., Szteke B.). Zesz. Nauk. PAN*, 8, 194-201.
- Jung M.Ch., Thornton I., Chon H-T., 2002. Arsenic, Sb and Bi contamination of soils, plants, waters and sediments in the vicinity of Dalsung Cu-W mine in Korea. *The Science of the Total Environment*, 295, 81-89.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1993. *Biogeochemia pierwiastków ośladowych*, PWN, Warszawa.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa.
- Kaszewski B.M., Mrugała S., 2001. Wybrane charakterystyki temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na obszarze Lubelszczyzny (1951-1990). *Acta Agrophysica*, 47, 1-74.
- Kołodziej M., Dudzic A., Kaniuczak J., Hajduk E., 1994. Zawartość arsenu w glebach południowo-wschodniej Polski. W: *Arsen i selen w środowisku, problemy ekologiczne i metodyczne (Red. Kabata-Pendias A., Szteke B.). Zesz. Nauk. PAN*, 8, 17-19.
- Kondracki J., 1994. *Geografia Polski, Regiony fizyczno-geograficzne*, PWN Warszawa.
- Konecka-Betley K., Janowska E., Łuniewska-Broda J., Szpotański M., 1984. Wstępna klasyfikacja gleb aglomeracji warszawskiej. *Roczn. Glebozn.*, 35(2), 1-32.
- Kukier U., 1985. Stan zanieczyszczenia metalami ciężkimi wierzchniej warstwy gleb Lublina. *Annales UMCS, sec. B*, 40, 219-228.

- Lin Z., Puls R.W., 2000. Adsorption, desorption and oxidation of arsenic affected by clay minerals and aging process. *Environmental Geology*, 39, 753-759.
- Lin Z., Puls R.W., 2003. Potential indicators for the assessment of arsenic natural attenuation in the subsurface. *Advances in Environmental Research*, 7, 825-834.
- Ma L.Q., Fang T., Harris W.G., 1997. Concentrations and distributions of eleven metals in Florida Soils. *J. Environmental Quality*, 26, 769-775.
- Ma L.Q., Rao G.N., 1997. Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel and zinc in contaminated soils. *J. Environmental Quality*, 26, 259-264.
- Mandal B.K., Chowdhury T.R., Samanta G., Mukherjee D.P., Chanda C.R., Saha K.C., Chakraborti D., 1998. Impact of safe water for drinking and cooking on five arsenic-affected families for 2 years in West Bengal, India. *The Science of the Total Environment*, 218, 185-201.
- Marszałek H., Wąsik M., 2000. Influence of arsenic-bearing gold deposits on water quality in Złoty Stok mining area (SW Poland). *Environmental Geology*, 39(8), 888-892.
- Maruszczak H., 1972. Wyżyny Lubelsko-Wołyńskie. [w.] Klimaszewski M.. *Geomorfologia Polski*, T.1. Wyd. PWN, Warszawa, 340-385.
- Maruszczak H., Uziak S., 1978. Wpływ mikrorzeźby obszarów lessowych na zróżnicowanie procesów glebotwórczych. *Roczn. Glebozn.*, 29(3), 159-171.
- Matschullat J., 2000. Arsenic in the geosphere. *The Science of the Total Environment*, 249, 297-312.
- Mattusch J., Wennrich R., Schmidt A.S., Reisser W., 2000. Determination of arsenic species in water, soils and plants. *Fresenius J. Analytical Chemistry*, 366, 200-203.
- McKeague J.A., 1967. An evaluation of 0,1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. *Canadian J. Soil Sci.*, 47, 95-99.
- Mehr O.P., Jackson J.M., 1960. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate systems buffered with sodium bicarbonate. *Clay and Clays Minerale*, 5, 317-327.
- Meinhardt B., 1994. Arsen w glebach i roślinach miasta Wrocławia i na terenach wodonośnych. W: *Arsen i selen w środowisku, problemy ekologiczne i metodyczne* (Red. Kabata-Pendias A., Szteke B.). *Zesz. Nauk. PAN*, 8, 20-23.
- Melke J., 1997. Niektóre prawidłowości w składzie chemicznym gleb brunatnych różnych regionów geograficznych. *Wyd. UMCS, Lublin*.
- Michalczyk Z., 1997. *Strategia wykorzystania i ochrony wód w dorzeczu Bystrzycy*, Wyd. UMCS, Lublin.
- Namieśnik J., Łukasik J., Jamrógiewicz Z., 1995. *Pobieranie próbek środowiskowych do analizy*, PWN, Warszawa.
- Navas A., Machin J., 2002. Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils of Aragon (northeast Spain) controlling factors and environmental implications. *Applied Geochemistry*, 17, 961-973.
- Nriagu J.O., 1994a. *Arsenic in the environment. Part I. Cycling and Characterization*. Wiley and Sons, New York.
- Nriagu J.O., 1994b. *Arsenic in the environment. Part II. Human Health and Ecosystem Effects*. Wiley and Sons, New York.
- Oscarson D.W., Huang P.M., Hammer U.T., 1983. Kinetics of oxidation by various manganese dioxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47(4), 644-648.
- Paczyński S., 1980. *Podstawy systematyki regionalnej wód podziemnych Polski*. Wyd. Państwowego Instytutu Geologicznego, seria. specjalna, Warszawa.
- Pais I., 1992. Criteria of essentiality, beneficiality and toxicity of chemical elements, *Acta Alimentaria*, 28, 145-152.
- Perkin-Elmer, 1994. *Flow Injection Mercury/Hydride Analyses-Recommended Analytical Conditions and General Information*, Bodenseewerk Perkin-Elmer GmbH.

- Połeć-Pawlak K., Abramski K., Hołdak M., Latour T., Drobniak M., Lulek J., Jarosz M., 2004. Badania specjacji arsenu w naturalnych wodach mineralnych metodą HPLC-ICP-MS. *Laboratorium Aparatura Badania*, 1, 28-32.
- Pongratz R., 1998. Arsenic speciation in environmental samples of contaminated soil. *The Science of the Total Environment*, 224, 133-141.
- Požaryski W., 1974. Synklinorium lubelskie [w.] *Budowa geologiczna Polski T. IV, cz. 1*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, 349-362.
- Raczuk J., 2001. Rozmieszczenie związków żelaza w glebach płowych Wysoczyzny Siedleckiej. *Roczn. Glebozn.*, 52(supl.), 109-117.
- Rodriguez R.R., Basta N.T., Casteel S.W., Armstrong F., P. and Ward D., C., 2003. Chemical extraction methods to assess bioavailable arsenic in soil and solid media. *J. Environmental Quality*, 32, 876-883.
- Schwertmann U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraction mit Ammonium-oxalat-Lösung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung Düngung Bodenkunde*, 105, 194-202.
- Seńczuk W., 2002. *Toksykologia*, Wyd. Lekarskie, Warszawa.
- Sharim A., Chiswell B., Olszowy H., 1999. Speciation of arsenic by hydride generation – atomic absorption spectrometry (HG-AAS) in hydrochloric acid reaction medium. *Talanta*, 50, 1109-1127.
- Siemiński M., 2001. *Środowiskowe zagrożenia zdrowia*. PWN, Warszawa.
- Skinder N.W., 1998. *Chemia, a ochrona środowiska*. WSiP, Warszawa.
- Skłodowski P., Zarzycka H., 1995. Wpływ rolniczego użytkowania gleb na ich niektóre właściwości chemiczne. *Roczn. Glebozn.*, 46(3-4), 37-43.
- Smith E., Naidu R., Alston A., 2002. Chemistry of Inorganic Arsenic in Soils. II Effect of Phosphorus, Sodium and Calcium on Arsenic Sorption. *J. Environmental Quality*, 31, 557-563.
- Stalikas C.D., Pilidis G.A., Tzouvara-Karayanni S.M., 1999. Use of sequential extraction scheme with data normalisation to assess the metal distribution in agricultural soils irrigated by lake water. *The Science of the Total Environment*, 236, 7-18.
- Systematyka Gleb Polski, PTG., 1989. *Roczn. Glebozn.*, 40(3/4), 1-148.
- Szteke B., Ręczajska W., 1994. Arsen i Selen w żywności i w paszach. W: *Arsen i selen w środowisku, problemy ekologiczne i metodyczne* (Red. Kabata-Pendias A., Szteke B.). *Zesz. Nauk. PAN*, 8, 82-93.
- Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51(7), 844-851.
- Turski R., Uziak S., Zawadzki S., 1993. *Środowisko przyrodnicze Lubelszczyzny – Gleby*. Wyd. LTN, Lublin.
- Uziak S., Brogowski Z., Komornicki T., 2005. Właściwości frakcji granulometrycznych gleb wytworzonych z różnych utworów macierzystych. *Acta Agrophysica*, 124, 1-157.
- Väisänen A., Suontamo R., Silvonen J., Rintala J., 2002. Ultrasound-assisted extraction in the determination of arsenic, cadmium, copper, lead, and silver in contaminated soil samples by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 373, 93-97.
- Vassileva E., Baeten H., Hoenig M., 2001. Discussion of parameters associated with the determination of arsenic by electrothermal atomic absorption spectrometry in slurried environmental samples. *Fresenius J. Analytical Chemistry*, 369, 159-165.
- Vink B.W., 1996. Stability relations of antimony and arsenic compounds in the light of revised and extended Eh-pH diagrams. *Chemical Geology*, 130, 21-30.
- Violante A., Pigna M., 2002. Competitive sorption of arsenate and phosphate on different clay minerals and soils. *Soil Sci. Soc. America J.*, 66, 1788-1796.

- Wenzel W., Kirchbaumer N., Prohaska T., Stinger G., Lombi E., Adriano D., 2001. Arsenic fractionation in soils using an improved sequential extraction procedure. *Analytica Chimica Acta*, 436, 309-323.
- Wilgat K., Wilgat T., 1954. Położenie i rozwój terytorialny Lublina. Warunki topograficzne i powstanie miasta. Przewodnik V Ogólnopolskiego zjazdu PTG, Lublin.
- Wilgat T., 1980a. Stosunki wodne Lublina. *Biuletyn LTN. Geogr.*, 22(1), 19-26.
- Wilgat T., 1980b. Zasoby wodne Lublina. *Biuletyn LTN. Geogr.*, 22(2), 27-32.
- Williams L. E., Barnett M. O., Kramer T. A., Melville J. G., 2003. Adsorption and transport of arsenic (V) in Experimental Subsurface Systems. *J. Environmental Quality*, 32, 841-850.
- Woolson E.A., Axley J.H., Kearney P.C., 1973. The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soil. 2. Effect of time and phosphorus. *Soil Science Society of America Proc.*, 37, 254-259.
- Zeien H., Brümmer G.W., 1989. Chemische Extraktionen zur Bestimmung von schwermetallbindungsformen in Böden. *Mitteilungen der Deutschland Bodenkunde Gesellschaft*, 59, 505-510.
- Zhang H., Ma D., Hu X., 2002. Arsenic pollution in groundwater from Hatedo Area, China. *Environmental Geology*, 41, 638-643.
- Zinkiewicz W., Zinkiewicz A., 1973. Stosunki klimatyczne województwa lubelskiego. *Annales UMCS, sec.B*, 28, 78-93.
- Żelichowski A.M., 1974. Obszar radomsko-lubelski. W: *Budowa geologiczna Polski*, T. IV, cz.1, Wyd. Geologiczne, Warszawa, 349-362.

8. STRESZCZENIE

Na obszarach zurbanizowanych znalezienie gleb niezawierających domieszek antropogenicznych jest bardzo trudne. Gleby Lublina podlegające wielorakim presjom antropogenicznym, charakteryzują się zróżnicowaną zmianą ich właściwości chemicznych, fizykochemicznych, fizycznych i biologicznych oraz przekształceniem budowy morfologicznej.

Celem pracy było określenie, którym właściwościom glebowym i sposobom użytkowania można przypisać dominującą rolę w zatrzymywaniu, uruchamianiu i przemianie arsenu w glebach aglomeracji miejskiej oraz sprawdzenie, czy specyfika gleb miejskich na przykładzie Lublina wpływa na zmianę zachowań arsenu. Poddano także ocenie zagrożenia związane z zawartością i rozmieszczeniem arsenu w glebach Lublina.

Dodatkowo brakuje opracowań dotyczących tej problematyki z obszaru Lublina i Polski. Na podstawie wyników właściwości gleb aglomeracji lubelskiej oraz zawartości ogólnej arsenu i jego form wydzielonych podczas analiz specyjalnych można stwierdzić, że w glebach Lublina charakteryzujących się dużym zróżnicowaniem typologicznym różnym użytkowaniem, zawartość i rozmieszczenie arsenu ogólnego i jego form jest wypadkową czynników naturalnych i wpływu antropopresji. Największa zawartość w powierzchniowych poziomach większości gleb Lublina dowodzi silnego wpływu działalności człowieka na zachowanie badanego pierwiastka. W glebach Lublina nie zostały przekroczone normy dotyczące dopuszczalnej zawartości arsenu w glebie z grupy użytkowej A. Z drugiej strony

suma tzw. frakcji arsenu dostępnych dla mikroorganizmów i roślin stanowi w badanych glebach Lublina około 11%. Nie ma więc realnego zagrożenia skażenia tym pierwiastkiem gleb Lublina i przedostawania się arsenu do organizmów ludzi i zwierząt. Z przeprowadzonych badań wynika, że największy udział w puli ogólnej arsenu mają frakcje związane z krystalicznym i amorficznymi tlenkami żelaza. Z uwagi na niewielką mobilność tych frakcji tlenki żelaza zawarte w glebie mogą stanowić skuteczną barierę dostępności tego pierwiastka dla mikro i mikroorganizmów glebowych i przedostawania się go do wód gruntowych.

Przeprowadzone badania pozwoliły na dokładniejsze poznanie zawartości różnych form arsenu oraz ich wzajemnych zależności w glebach miasta Lublina. Potwierdziły również, że gleby znajdujące się w granicach aglomeracji miejskiej są poddawane antropopresji o różnym stopniu nasilenia i wykazują duże zróżnicowanie pod względem morfologii i właściwości fizykochemicznych.

Rezultaty badań mogą zostać wykorzystane do określenia naturalnego tła zawartości arsenu w wybranych glebach Lublina oraz jako kryterium przy szacowaniu poziomu koncentracji arsenu pochodzenia antropogenicznego w glebach innych obszarów miejskich. Dodatkowo realizacja badań nad oceną stanu zanieczyszczenia gleb arsenem może posłużyć wypracowaniu optymalnych metod tej oceny.

Słowa kluczowe: arsen, specjacja, zanieczyszczenie gleb, gleby miejskie, Lublin

9. SUMMARY

FACTORS FORMATIVE CONTENT AND FORMS OF ARSENIC IN SOILS OF LUBLIN AGGLOMERATION

It is very difficult to find soils that do not contain any anthropogenic additions, within urbanized area. Soils of the city of Lublin are subjected to various forms of anthropopressure. They are characterized by different degree of modification of their chemical, physicochemical, physical and biological properties as well as morphological constitution.

The general aim of my dissertation was: to define, what of the soil properties and types of soil using determine the main role in the stopping, running and changing of the arsenic in the soil in the urban area. My additional aim was: to verify is specify of city's soils determines some changes in arsenic's behavior.

The general motive for my study is connected with the fact that there are no publications in this subject. On the base of my results, included general properties og Lublin's soils and general forms of arsenic which are separated in the process of speciational chemical analysis, one may say that in the Lublin's soils (which are characterized by the typological difference and different types of using), the content and collocation of

arsenic is an average of the natural elements and the influence of the antropressure. The most concentration of arsenic in surface levels of the Lublin's soils proofs that there is essential human's influence for arsenic's behavior. On the base of the properties of studied soils, it wasn't exceeded arsenic norms for the usable group A in the sense of Polish Environment Ministry status about standard of qualifty of the soils.

On the other hand, a sum of arsenic fractions available for microorganisms and plants, constitute about 11% in the investigated soils of Lublin. Therefore, there is no danger of pollution of soils of Lublin by this element and intaking of arsenic by human and animal organisms. The conclusion of the research carried out is that the fractions connected with crystallic and amorphic iro oxides have the highest share in the total arsenic pool. Because of little mobility of these forms, iron oxides occuring in soils may constitute an effective barrier for this element availability for soil microorganisms and migrating to the groundwater.

Carried out investigation allowed better recognize of various arsenic forms content and their interrelationships in the soils of the city of Lublin. The results of the research confirm also that soils within the agglomeration borders are subjected to antropressure of different degree of intensity and show high variety in terms of morphology and physicochemical properties.

The results of my study may be used to the description of the natural background of the content of arsenic in Lublin's soils and as criterion for valuation of the level of arsenic's concentration in another urban soils. My study can used also as methodological background for the valuation of the level of impurity of soils by arsenic.

Keywords: arsenic, speciation, soil pollution, urban soils, city of Lublin

ZAŁĄCZNIKI

Lokalizacja/location: Czesławice k. Naleczowa
Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
51°17'39"N, 22°15'55"E

Rzeźba terenu/relief: wyżynna, falista/upland, wavy
Polożenie odkrywk/soil pit situation: płaskie/flat
Rodzaj skały macierzystej/parent rock: less/loess

Szata roślinna/vegetation cover:
drzewostan/stand- *Quercus petraea*, *Carpinus betulus*,
Betula pendula

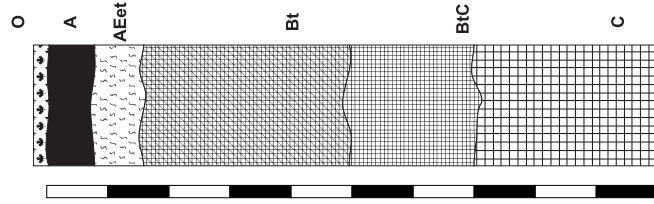
podszycit/underwood: *Corylus avellana*, *Carpinus betulus*
runo/undergrowth - *Oxalis acetosella*, *Polygonatum odoratum*

Użytkowanie/land-use form: las/forest

PROFIL 1/ PROFILE 1

Klasyfikacja/classification:

wg PTG (1989): gleba płowa typowa
acc. to PTG (1989): typical lessive soil
wg FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*
acc. to FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*



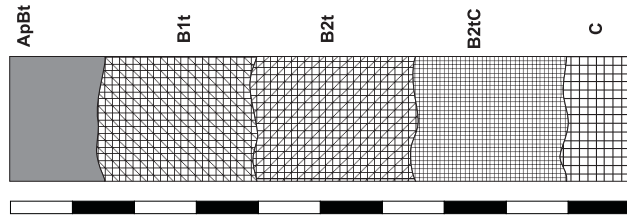
Cca >129 cm, poziom skały macierzystej; barwa bladobrazowa (2,5 Y 8/3) w stanie suchym, jasno oliwkowo-brazowa (2,5 Y 5/4) w stanie wilgotnym; przejście ostre, pofalowane; stan uwilgotnienia świeży; obecne mliczne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brazowych plamek; pył ilasty, obecne węglany burzące; parent rock horizon, pale yellow (2.5 Y 8/3) when dry, light olive-brown (2.5 Y 5/4) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: fresh, not numerous Fe³⁺ concretions in a form of brown mottles, loamy silt, carbonates present

Lokalizacja/location: Czesławice k. Nateczowa
Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
 51°17'39" N, 22°15'55" E
Rzeźba terenu/relief: wyżyna, falista/upland, wawy
Polożenie odkrywk/soil pit situation: płaskie/flat
Rodzaj skały macierzystej/parent rock: less/loess

Ściana roślinna/vegetation cover:
Agropyron repens, Poa annua, Plantago lanceolata, Taraxacum officinale
Użytkowanie/land-use form: odlogowane pole/fallow

PROFIL 2/ PROFILE 2

Klasyfikacja/classification:
 wg PTG (1989): gleba płowa typowa
 acc to PTG (1989): typical lessive soil
 wg FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*
 acc. to FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*



ApBt 0-15 cm, poziom próchniczny, omy; barwa blade żółta (2.5Y 7/3) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 4/4) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-świeży; pył ilasty; brak węglanów burzających, brunas horizon, plough, pale yellow (2.5 Y 7/3) when dry, dark yellowish brown (10 YR 4/4) when moist, clear and wavy horizon, moisture state: fresh, loamy silt, lack of carbonates

B1t 15-40 cm, poziom wzbogacenia; barwa żółta (10YR 7/6) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 4/6) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-świeży; pył ilasty; brak węglanów burzających, illuvial horizon, yellow (10 YR 7/6) when dry, dark yellowish brown (10 YR 4/6) when moist, clear and wavy horizon, moisture state: fresh, loamy silt, lack of carbonates

B2t 40-65 cm, poziom wzbogacenia; barwa żółta (10YR 7/6) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 4/6) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia świeży; obecne korytarze dżdżownic; pył ilasty; brak węglanów burzających, illuvial horizon, yellow (10 YR 7/6) when dry, dark yellowish brown (10 YR 4/6) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, earthworm corridors, loamy silt, lack of carbonates

B2tC 65-90 cm, poziom przejściowy; barwa żółta (10YR 7/6) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 4/6) w stanie wilgotnym; przejście ostre, pofalowane; stan uwilgotnienia świeży; obecne warstwy jasno- i ciemnobrązowe, obecne nieliczne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych plamek, korytarze dżdżownic; pył ilasty; brak węglanów burzających, transitional horizon, yellow (10 YR 7/6) when dry, dark yellowish brown (10 YR 4/6) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: fresh, light- and dark brown strata, not numerous Fe³⁺ concretions in a form of brown mottles, earthworm corridors, loamy silt, lack of carbonates

C 90-150 cm, poziom skały macierzystej; barwa żółta (10YR 8/6) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 4/6) w stanie wilgotnym; przejście ostre, pofalowane; stan uwilgotnienia świeży; obecne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych plamek; pył zwykły; brak węglanów burzających, parent rock horizon, yellow (10 YR 8/6) when dry, dark yellowish brown (10 YR 4/6) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: fresh, Fe³⁺ concretions in a form of brown mottles, silt, lack of carbonates

Cca >150 cm, poziom skały macierzystej, barwa blade żółta (2.5Y 8/3) w stanie suchym, oraz jasno oliwkowo brązowa (2.5Y 5/4) w stanie wilgotnym; obecne ciemne plamy, obecne nieliczne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych zacieków; stan uwilgotnienia-świeży; pył ilasty; obecne węglany burzające, parent rock horizon, pale yellow (2.5 Y 8/3) when dry, pale olive-brown (2.5 Y 5/4) when moist, dark smudges present, not numerous Fe³⁺ concretions in a form of brown bruises, moisture state: fresh, loamy silt, carbonates present

Lokalizacja/location: rezerwat „Stary Gaj”

Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
51°12'44" N, 22°29'59" E

Rzeźba terenu/relief: wyżynna, niskofalista/upland, wawy

Polożenie odkrywki/soil pit situation: płaskie/flat

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: less/loess

Szata roślinna/vegetation cover:

drzewostan/stand - *Carpinus betulus*, *Betula pendula*,

Quercus petraea, *Tilia cordata*

podszycit/underwood - *Corylus avellana*, *Carpinus*

betulus

rano/undergrowth - *Polygonatum odoratum*, *Anemone*

nemorosa, *Convallaria majalis*, *Oxalis acetosella*, *Fiola*

reichenbachiana, *Majanthemum bifolium*

Użytkowanie/land-use form: las (wiek powyżej 50

lat)/forest (at least 50 years old)

PROFIL 3/ PROFILE 3

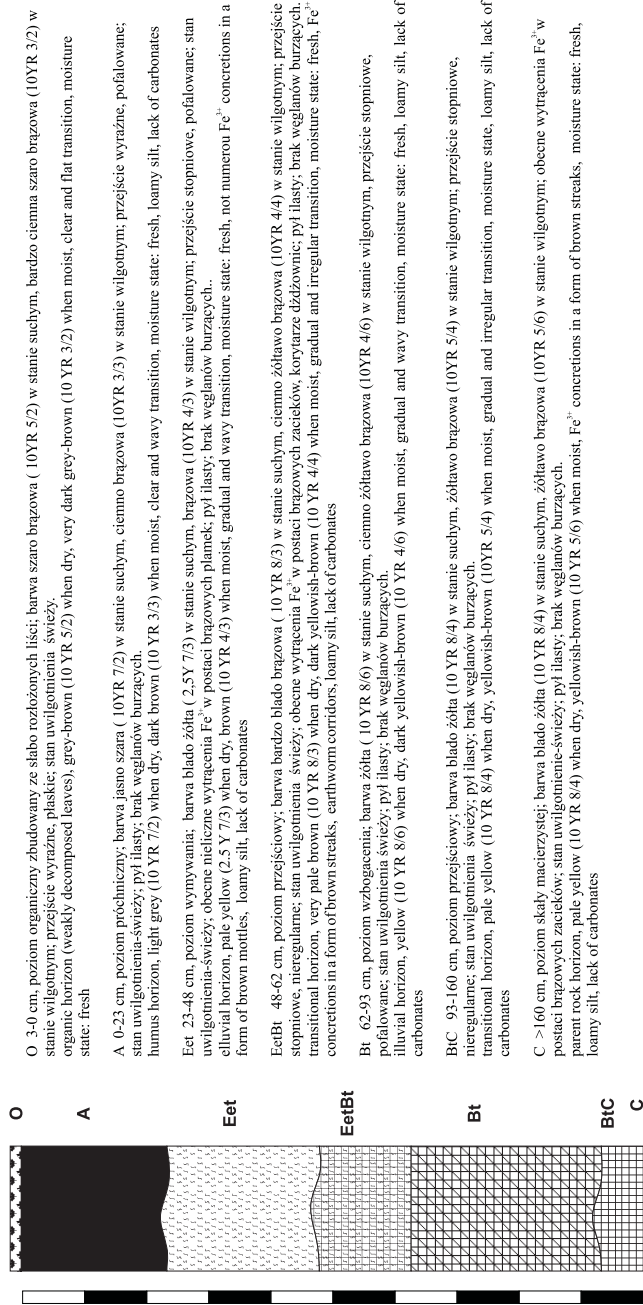
Klasyfikacja/Classification:

wg PTG (1989): gleba płowa typowa

acc. to PTG (1989): typical lessive soil

wg FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*

acc. to FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*



Lokalizacja/location: pole w sąsiedztwie rezerwatu „Stary Gaj”/field near “Stary Gaj” Reserve

Współrzędne geograficzne/geographical coordinates: 51°12'44" N, 22°29'59" E

Rzeźba terenu/relief: niskofalista/low wavy

Położenie odkrywk/soil pit situation: płaskie/flat

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: less/loess

Szata roślinna/vegetation cover: *Ribes nigrum*,
Tanacetum vulgare, *Solidago gigantea*, *Urtica dioica*,
Arenaria absinthium

Użytkowanie/land-use form: odlogowane pole/fallow

PROFIL 4/ PROFILE 4

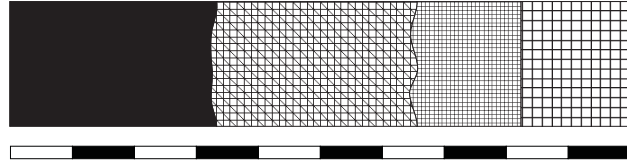
Klasyfikacja/Classification:

wg PTG (1989): gleba płowa typowa

acc. to PTG (1989): typical lessive soil

wg FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*

acc. to FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*



Ap 0-33 cm, poziom próchniczny, orny; barwa bardzo blade brązowa (10YR 7/3) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 3/4) w stanie wilgotnym; przejście ostre, pofalowane; stan uwilgotnienia - świeży; pył ilasty; brak węglanów burzących humus horizon, plough, very pale brown (10 YR 7/3) when dry, dark yellowish-brown (10 YR 3/4) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: fresh, loamy silt, lack of carbonates

Bt 33-66 cm, poziom wzbogacenia; barwa żółta (2,5Y 7/6) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 4/4) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-swieży; obecne ciemne plamy po korzeniach; pył ilasty; brak węglanów burzących illuvial horizon, yellow (2,5 Y 7/6) when dry, dark yellowish-brown (10 YR 4/4) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, dark smudges after roots presence, loamy silt, lack of carbonates

BtC 66-82 cm, poziom przejściowy; barwa blade żółta (2,5Y 8/4) w stanie suchym, żółtawo brązowa (10YR 5/6) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, nieregularne; stan uwilgotnienia-swieży; obecne warstwy jasno- i ciemnobrązowe, obecne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych plam; pył ilasty; brak węglanów burzących transitional horizon, pale yellow (2,5 Y 8/4) when dry, yellowish-brown (10 YR 5/6) when moist, clear and irregular transition, moisture state: fresh, light- and dark brown strata, Fe³⁺ concretions in a form of brown mottles, loamy silt, lack of carbonates

C 82-146 cm, poziom skały macierzystej; barwa blade brązowa (10YR 8/4) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 4/6) w stanie wilgotnym; obecne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych zacieków; stan uwilgotnienia-swieży; pył ilasty; brak węglanów burzących parent rock horizon, very pale brown (10 YR 8/4) when dry, dark yellowish-brown (10 YR 4/6) when moist, Fe³⁺ concretions in a form of brown streaks, moisture state: fresh, loamy silt, lack of carbonates

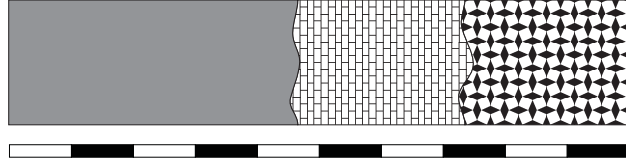
Cca >146 cm, poziom skały macierzystej; barwa blade żółta (2,5Y 8/4) w stanie suchym, jasno oliwkowo brązowa (2,5Y 5/4) w stanie wilgotnym; obecne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych smug; stan uwilgotnienia-swieży; pył ilasty; obecne węglany burzące parent rock horizon, pale yellow (2,5 Y 8/4) when dry, light olive-brown (2,5 Y 5/4) when moist, Fe³⁺ concretions in a form of brown bands, moisture state: fresh, loamy silt, carbonates present

Lokalizacja/location: Lublin, ul. Działkowa, opuszczone ogródki działkowe/old allotments
Współrzędne geograficzne/geographical coordinates: 51°14'55"N, 22°35'00"E
Rzeźba terenu/relief: wyżynna, falista/upland, wawy
Poleżenie odkrywkowy/soil pit situation: płaskie o dobrym odpływie/flat with good outflow
Rodzaj skały macierzystej/parent rock: gruz budowlany/building rubble

Szata roślinna/vegetation cover: *Tanacetum vulgare*, *Cirsium arvense*, *Solidago virgaurea*, *Taraxacum officinale*, *Convolvulus arvensis*, *Fragaria vesca*, *Sambucus nigra*, *Poa annua*, *Malus domestica*
Użytkowanie/land-use form: nieużytek/wasteland

PROFIL 5/ PROFILE 5

Klasyfikacja/classification:
wg PTG (1989): parareglina antropogeniczna
acc. to PTG (1989): anthropogenic parareglina
wg FAO-UNESCO (1990): *Urbii-Calcaric Regosol*
acc. to FAO-UNESCO (1990): *Urbii-Calcaric Regosol*



Aanca 0-46 cm, warstwa próchniczna; barwa szara (2.5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2.5Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostre, pofalowane; stan uwilgotnienia suchy; obecne odłamki cegiel czerwonych i białych; pył ilasty; obecne węglany burzące.
humus layer; grey (2.5 Y 5/1) when dry; very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist; sharp and wavy transition, moisture state: dry, red and white bricks fragments, loamy silt, carbonates present

IIC1anca 46-72 cm, warstwa skały macierzystej; barwa blade żółta (2.5Y 7/4) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10YR 4/4) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia świeży; obecne liczne odłamki gruzu budowlanego, elementy żelbetonowe; glina średnia pylista; obecne węglany burzące.
parent rock layer; pale yellow (2.5 Y 7/4) when dry, dark yellowish-brown (10 YR 4/4) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, numerous building rubble fragments, ferroconcrete elements, medium silty loam, carbonates present

IIC2anca 72-107 cm, warstwa skały macierzystej; barwa blade żółta (2.5Y 8/2) w stanie suchym, oliwkowo brązowa (2.5Y 4/4) w stanie wilgotnym; obecne odłamki gruzu budowlanego, zwałowe kawałki drewna; stan uwilgotnienia świeży; glina lekka silnie spieszczona; obecne węglany burzące.
parent rock layer; pale yellow (2.5 Y 8/2) when dry, olive-brown (2.5 Y 4/4) when moist, building rubble fragments, charred wood pieces, moisture state: fresh, light loam, carbonates present

IIC1anca IIC3anca 107-117, warstwa skały macierzystej; barwa bladeżółta (2.5Y 7/4) w stanie suchym, oliwkowo brązowa (2.5 Y 4/4) w stanie wilgotnym; obecne odłamki gruzu budowlanego, stan uwilgotnienia świeży; glina lekka słabo spieszczona; obecne węglany burzące.
parent rock layer; pale yellow (2.5 Y 7/4) when dry, olive-brown (2.5 Y 4/4) when moist, building rubble fragments, moisture state: fresh, light loam, carbonates present

IIC2anca

Lokalizacja/location: Lublin, teren elektrociepłowni Mega-Tem/Mega-Tem heating plant

Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
51°14'22" N, 22°34'19" E

Rzeźba terenu/relief: wyżynna, falista/upland, wavy

Polożenie odkrywkowej/soil pit situation: płaskie o dobrym odpływie/flat with good outflow

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: gruz budowlany/building rubble

Szata roślinna/vegetation cover: *Agropyron repens*,
Poa annua, *Taraxacum officinale*, *Tanacetum vulgare*,
Echium vulgare, *Trifolium repens*, *Trifolium hybridum*
Użytkowanie/land-use form: nieużytek/wasteland

PROFIL 6/ PROFILE 6

Klasyfikacja/classification:

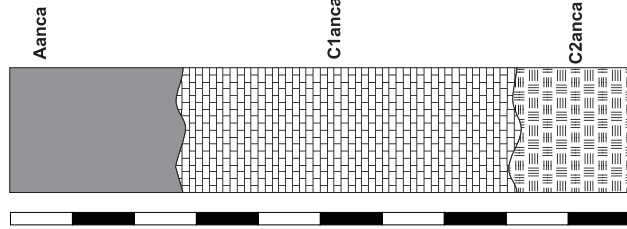
wg PTG (1989): pararendzina antropogeniczna
acc. to PTG (1989): anthropogenic pararendzina

wg FAO-UNESCO (1990): *Urbic-Calcic*

Regosol

acc. to FAO-UNESCO (1990): *Urbic-Calcic*

Regosol



Aanca 0-28 cm, warstwa próchniczna; barwa ciemno rudawo szara (2.5 YR 4/1) w stanie suchym, rudawo czarna (2.5 Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostre, nieregularne; stan uwilgotnienia suchy; obecne liczne, drobne odłamki gruzu budowlanego; glina lekka silnie spieszczona; obecne węglany burzące. humus layer; dark rusty-grey (2.5 YR 4/1) when dry, rusty-black (2.5 Y 3/1) when moist, sharp, irregular transition, moisture state: dry, numerous small rubble fragments, light loam, carbonates present

C1anca 28-82 cm, warstwa skały macierzystej; barwa szara (5 Y 6/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (5 Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pośladowane; stan uwilgotnienia świeży; obecne liczne odłamki gruzu budowlanego, przardzewiałe elementy stalowe i żeliwne, odłamki ceramiki i szkła; glina lekka słabo spieszczona, pyłasta; obecne węglany burzące. parent rock layer, grey (5 Y 6/1) when dry, very dark grey (5 Y 3/1) when moist, clear, wavy transition, moisture state: fresh, numerous building rubble fragments, corroded steel and cast-iron elements, ceramics and glass fragments, light silty loam, carbonates present

C2anca 82-100 cm, warstwa skały macierzystej; barwa jasno szara (5 Y 7/1) w stanie suchym, ciemno szara (5 Y 4/1) w stanie wilgotnym; obecne odłamki gruzu budowlanego, kamienie; stan uwilgotnienia świeży; glina średnia pyłasta; obecne węglany burzące. parent rock layer, light grey (5 Y 7/1) when dry, dark grey (5 Y 7/1) when moist, building rubble fragments, stones, moisture state: fresh, medium silty loam, carbonates present

<p>Lokalizacja/location: Lublin, ul. Wojska, w sąsiedztwie Lubelskich Zakładów Przemysłu Skórzanego/near Lublin Leather Industry Factory</p> <p>Współrzędne geograficzne/geographical coordinates: 51°14'21" N, 22°34'26" E</p> <p>Rzeźba terenu/relief: wyżynna, falista/upland, wavy</p> <p>Polożenie odkrywkowej/soil pit situation: płaskie/flat</p> <p>Rodzaj skały macierzystej/parent rock: gruz budowlany/building rubble</p>	<p>Szata roślinna/vegetation cover: <i>Agropyron repens</i>, <i>Poa annua</i>, <i>Taraxacum officinale</i>, <i>Trifolium repens</i>, <i>Trifolium hybridum</i></p> <p>Użytkowanie/land-use form: skwer/square</p>	<p style="text-align: center;">PROFIL 7/ PROFILE 7</p> <p>Klasyfikacja/classification: wg PTG (1989): gleba antropogeniczna o nie wykształconym profilu acc. to PTG (1989): anthropogenic soil with non-developed profile wg FAO-UNESCO (1990): <i>Urbic-Anthrosol</i> acc. to FAO-UNESCO (1990): <i>Urbic-Anthrosol</i></p>
<p>Aanca 0-4 cm, poziom próchniczny; barwa ciemna szaro brązowa (2,5Y 4/2) w stanie suchym, czarna (2,5Y 2,5/1) w stanie wilgotnym; przejście ostre, płaskie; stan uwilgotnienia świeży; obecne nieliczne, drobne odłamki gruzu budowlanego; gлина lekka silnie spiaszczona, pyłasta, obecne węglany burzące.</p> <p>IIC1anca humus horizon, dark grey-brown (2,5 Y 4/2) when dry, black (2,5 Y 2,5/1) when moist, sharp and flat transition, moisture state: fresh, not numerous small rubble fragments, light silty loam, carbonates present</p> <p>IIC2anca IIC1anca 4-12 cm, warstwa skały macierzystej; barwa jasno żółto brązowa (2,5Y 6/3) w stanie suchym, ciemno szaro brązowa (2,5Y 4/2) w stanie wilgotnym; przejście ostre, płaskie; stan uwilgotnienia świeży; obecne liczne odłamki gruzu budowlanego, elementy żelbetonowe, odłamki ceramiki i szkła, różnej wielkości kamienie; pasek gliniasty mocny; obecne węglany burzące</p> <p>IIC3anca parent rock layer, light yellow-brown (2,5 Y 6/3) when dry, dark grey-brown (2,5 Y 4/2) when moist, sharp and flat transition, moisture state: fresh, numerous rubble fragments, ferroconcrete elements, ceramics and glass fragments, stones of different sizes, heavy loamy sand, carbonates present</p> <p>IIC4anca 12-18 cm, warstwa skały macierzystej; barwa bardzo ciemno szarobrązowa (2,5Y 3/2) w stanie suchym, czarna (2,5Y 2,5/1) w stanie wilgotnym; przejście ostre, płaskie; stan uwilgotnienia świeży; obecne drobne odłamki gruzu budowlanego, zwęglonego drewna, różnej wielkości kamienie; pasek gliniasty mocny; obecne węglany burzące.</p>	<p>IIC3anca 18-38 cm, warstwa skały macierzystej; barwa szara (2,5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2,5Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostre, płaskie; stan uwilgotnienia świeży; obecne liczne odłamki gruzu budowlanego, elementy żelbetonowe, odłamki ceramiki i szkła, różnej wielkości kamienie; pasek gliniasty mocny; obecne węglany burzące.</p> <p>IIC4anca >38 cm, warstwa skały macierzystej; barwa szara (2,5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2,5Y 3/1) w stanie wilgotnym; obecne odłamki gruzu budowlanego, elementy żelbetonowe, odłamki ceramiki i szkła, różnej wielkości kamienie; stan uwilgotnienia świeży; pasek gliniasty mocny, pyłasty; obecne węglany burzące.</p> <p>parent rock layer, grey (2,5 Y 5/1) when dry, very dark grey (2,5 Y 3/1) when moist, sharp and flat transition, moisture state: fresh, numerous rubble fragments, ferroconcrete elements, ceramics and glass fragments, various stones, heavy loamy sand, carbonates present</p>	<p>IIC3anca parent rock layer, grey (2,5 Y 5/1) when dry, very dark grey (2,5 Y 3/1) when moist, sharp and flat transition, moisture state: fresh, numerous rubble fragments, ferroconcrete elements, ceramics and glass fragments, various stones, heavy loamy sand, carbonates present</p> <p>IIC4anca parent rock layer, grey (2,5 Y 5/1) when dry, very dark grey (2,5 Y 3/1) when moist, sharp and flat transition, moisture state: fresh, numerous rubble fragments, ferroconcrete elements, ceramics and glass fragments, various stones, heavy loamy silty sand, carbonates present</p>

Lokalizacja/location: Lublin, ul. Łagiewnicka, Hajdów
Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
 51°15' 47" N, 22°37' 07" E

Rzeźba terenu/relief: wyżyna, falista/upland, wawy
Polożenie odkrywk/soil pit situation: płaskie, terasa
 zalewowa Bysztzycy/flats, Bysztzyca river flood terrace

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: piaski
 aluwialne/alluvial sand

Szata roślinna/vegetation cover: *Alopecurus pratensis*, *Agropyron repens*, *Taraxacum officinale*, *Rumex obtusifolius*, *Oxalis acetosella*, *Stellaria media*, *Achillea millefolium*, *Veronica chamaedrys*, *Equisetum arvense*, *Plantago major*;

PROFIL 8/ PROFILE 8

Klasyfikacja/Classification:

wg PTG (1989): mada trzecza próchnicza
 wg. to PTG (1989): humic river alluvial soil
 wg. FAO-UNESCO (1990): *Mollie Fluvisol*
 acc. to FAO-UNESCO (1990): Mollie Fluvisol

A1	0-5 cm, poziom próchniczny (darmiowy); barwa bardzo ciemno szaro brązowa (2.5Y 3/2) w stanie suchym, czarna (2.5Y 2.5/1) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe, płaskie; stan uwilgotnienia świeży; piasek gliniasty lekki, pylasty; obecne węglany burzace, humus (turf) horizon, very dark grey-brown (2.5 Y 3/2) when dry, black (2.5 Y 2.5/1) when moist, gradual and flat transition, moisture state: fresh, light loamy silty sand, carbonates present
A2	5-30 cm, poziom próchniczny; barwa bardzo ciemno szara (2.5 Y 3/1) w stanie suchym, czarna (2.5Y 2.5/1) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe, płaskie; stan uwilgotnienia-świeży; piasek gliniasty lekki, pylasty; obecne węglany burzace, humus horizon, very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist, black (2.5 Y 2.5/1) when moist, gradual and flat transition, moisture state: fresh, light loamy silty sand, carbonates present
C1	30-50 cm, poziom skały macierzystej; barwa szara (2.5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szaro brązowa (2.5Y 3/2) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe, płaskie; stan uwilgotnienia-świeży; piasek słabo gliniasty; obecne węglany burzace, parent rock horizon, grey (2.5 Y 5/1) when dry, very dark greyish-brown (2.5 Y 3/2) when moist, gradual and flat transition, moisture state: fresh, weakly loamy sand, carbonates present
C2	50-70 cm, poziom skały macierzystej; barwa szara (2.5Y 6/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szaro brązowa (2.5Y 3/2) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe, płaskie; stan uwilgotnienia-świeży; piasek luźny; obecne węglany burzace, parent rock horizon, grey (2.5 Y 6/1) when dry, very dark grey-brown (2.5 Y 3/2) when moist, gradual and flat transition, moisture state: fresh, loose sand, carbonates present
C3	70-85 cm, poziom skały macierzystej; barwa szara (2.5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2.5Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-świeży; piasek słabo gliniasty; obecne węglany burzace, parent rock horizon, grey (2.5 Y 5/1) when dry, very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, weakly loamy sand, carbonates present
C4	85-93 cm, poziom skały macierzystej; barwa szara (2.5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno brązowa (2.5Y 4/2) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-świeży; obecne wytrącena Fe ³⁺ w postaci brązowych plam; piasek luźny; obecne węglany burzace, parent rock horizon, grey (2.5 Y 5/1) when dry, very dark brown (2.5 Y 4/2) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, Fe ³⁺ concretions present in a form of brown mottles, loose sand, carbonates present
C5	93-106 cm, poziom skały macierzystej; barwa jasno szara (2.5Y 7/1) w stanie suchym, szara (2.5Y 5/1) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-świeży; obecne nieferalne wytrącenia Fe ³⁺ w postaci brązowych zacieków; piasek luźny; obecne węglany burzace, parent rock horizon, light grey (2.5 Y 7/1) when dry, grey (2.5 Y 5/1) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, not numerous Fe ³⁺ concretions present in a form of brown streaks, loose sand, carbonates present
C6	106-120 cm, poziom skały macierzystej; barwa szara (2.5Y 6/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szaro brązowa (10YR 3/2) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-świeży; obecne warstwy jasno- i ciemnoszare, fragmenty muszlelek; piasek luźny; obecne węglany burzace, parent rock horizon, grey (2.5 Y 6/1) when dry, very dark grey-brown (10 YR 3/2) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, light- and dark grey strata, shell fragments, loose sand, carbonates present
C4	120-160 cm, poziom skały macierzystej; barwa biała (10YR 8/1) w stanie suchym, szaro brązowa (10YR 5/2) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-wilgotny; piasek luźny; brak węglanów burzacych, oarent rock horizon, white (10 YR 8/1) when dry, grey-brown (10 YR 5/2) when moist, clear and wavy transition, moisture state: moist, loose sand, lack of carbonates
C5	160-180 cm, poziom skały macierzystej; barwa jasno szara (2.5Y 7/2) w stanie suchym, szaro brązowa (2.5Y 5/2) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-wilgotny; piasek luźny; brak węglanów burzacych, parent rock horizon, light grey (2.5 Y 7/2) when dry, grey-brown (2.5 Y 5/2) when moist, clear and wavy transition, moisture state: moist, loose sand, lack of carbonates
C9	180-190 cm, poziom skały macierzystej; barwa jasno szara (2.5 Y 7/2) w stanie suchym, szaro brązowa (2.5 Y 5/2) w stanie wilgotnym; stan uwilgotnienia-mokry; piasek luźny; obecne węglany burzace, woda na głębokości 185 cm, parent rock horizon, light grey (2.5 Y 7/2) when dry, grey-brown (2.5 Y 5/2) when moist, moisture state: wet, loose sand, carbonates present, groundwater level at 185 cm.

Lokalizacja/location: Lublin-Zadębie

Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
51°15'51" N, 22°37'11" E

Rzeźba terenu/relief: wyżyna, falista/upland, wawy

Położenie odkrywkі/soil pit situation: zagłębienie bezodpływowe/no-outflow hollow

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: gazy/gaize

Poziom wody gruntowej/groundwater level: 82 cm

Szata roślinna/vegetation cover: *Polygonum bistorta*,

Ranunculus repens, *Chenopodium album*, *Cirsium*

oleraceum, *Taraxacum officinale*, *Galium mollugo*

Użytkowanie/land-use form: odłogowane pole/fallow

PROFIL 9/ PROFILE 9

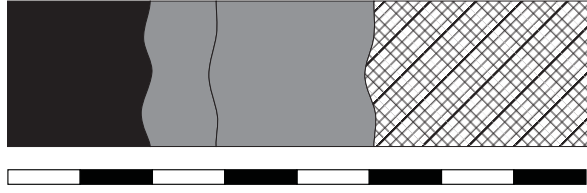
Klasyfikacja/Classification:

wg PTG (1989): czarna ziemia właściwa

acc. to PTG (1989): proper black earth

wg FAO-UNESCO (1990): *Gleyic Phaeozem*

acc. to FAO-UNESCO (1990): *Gleyic Phaeozem*



ApcA

A1ca

A2ca

C1cagg

C2cagg

ApcA 0-20 cm, poziom próchniczny, orný; barwa ciemno szaro brązowa (10 YR 4/2), stanie suchym, czarna (10YR 2/1) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe, pofalowane; stan uwilgotnienia wilgotny; glina lekka, słabo spiaszczona, pylasta; obecne węglany burzące.
humus horizon, plough, dark grey-brown (10 YR 4/2) when dry, black (10 YR 2/1) when moist, gradual and wavy transition, moisture state: moist, light silty loam, carbonates present

A1ca 20-28 cm, poziom próchniczny; barwa ciemno szaro brązowa (10 YR 4/2) w stanie suchym, czarna (10 YR 2/1) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe, pofalowane; stan uwilgotnienia wilgotny; obecne fragmenty muszelek; glina lekka, słabo spiaszczona, pylasta; obecne węglany burzące.
humus horizon, dark grey-brown (10 YR 4/2) when dry, black (10 YR 2/1) when moist, gradual and wavy transition, moisture state: moist, shell fragments, light silty loam, carbonates present

A2ca 28-51 cm, poziom próchniczny; barwa ciemno szara (10YR 4/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (10YR 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostre, pofalowane; stan uwilgotnienia wilgotny; obecne fragmenty muszelek, białe plamy, glina lekka, słabo spiaszczona, pylasta; obecne węglany burzące.
humus horizon, dark grey (10 YR 4/1) when dry, very dark grey (10 YR 3/1) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: moist, shell fragments, white smudges, light silty loam, carbonates present

C1cagg 51-80 cm, poziom skały macierzystej z cechami gruntowo-glejowymi; barwa biała (2,5Y 8/1) w stanie suchym, szara (2,5Y 5/1) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe, pofalowane; stan uwilgotnienia mokry; ogłębienie zaciekowe, obecne sino-szare i obecne nieliczne wytrącenia Fe³⁺ w postaci rdzawych plam; glina lekka, silnie spiaszczona, pylasta; obecne węglany burzące.

parent rock horizon with ground-gley features, white (2.5 Y 8/1) when dry, grey (2.5 Y 5/1) when moist, gradual and wavy transition, moisture state: wet, streak blue-grey gleying, not numerous Fe³⁺ concretions in a form of rusty spots, light silty loam, carbonates present

C2cagg > 80 cm, poziom skały macierzystej z cechami gruntowo-glejowymi; barwa biała (10 YR 8/1) w stanie suchym, lekko szara (2,5Y 7/2) w stanie wilgotnym; ogłębienie zaciekowe, obecne sino-szare i rdzawe plamy; stan uwilgotnienia mokry; obecne węglany burzące.

parent rock horizon with ground-gley features, white (10 YR 8/1) when dry, light grey (2.5 Y 7/2) when moist, streak gleying, blue-grey and rusty smudges, moisture state: wet, carbonates present

Lokalizacja/location: Lublin, ul. Bryńskiego

Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:

51°11'33" N, 22°32'34" E

Rzeźba terenu/relief: wyżyna, falista

Położenie odkrywkii/soil pit situation: płaskie o dobrym

odpywie/flat with good outflow

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: margle/marls

Szata roślinna/vegetation cover: *Papaver rhoeas*,

Galium mollugo, *Centaurea cyanus*, *Hypericum*

perforatum, *Anthemis arvensis*, *Rumex obtusifolius*

Użytkowanie/land-use form: odlogowane pole/fallow

PROFIL 10/ PROFILE 10

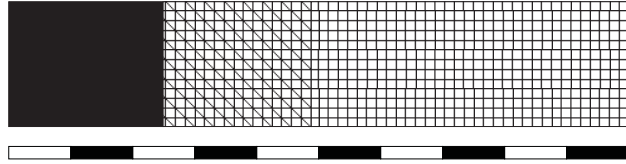
Klasyfikacja/classification

wg PTG (1989): parareczna brunatna

acc. to PTG (1989): brown pararendzina

wg FAO-UNESCO (1990): *Calcric Cambisol*

acc. to FAO-UNESCO (1990): *Calcric Cambisol*



Ap

BbrC

Cca

Ap 0-24 cm, poziom próchniczny, orny; barwa jasno szara (2.5Y 7/2) w stanie suchym, ciemno szarawo brązowa (2.5 Y 4/2), w stanie wilgotnym; przejście ostre, płaskie; stan uwilgotnienia świeży; obecne drobne odłamki zwietrzalej skały wapiennej; glina lekka, słabo spiaszczona, pyłasta; brak węglanów burzących, humus horizon, plough, light grey (2.5 Y 7/2) when dry, dark greyish-brown (2.5 Y 4/2) when moist, sharp and flat transition, moisture state: fresh, small fragments of weathered limestone, light silty loam, lack of carbonates

BbrC 24-48 cm, poziom przejściowy; barwa bardzo blade brązowa (10YR 8/3) w stanie suchym, ciemno żółtawo brązowa (10 YR 4/6) w stanie wilgotnym, przejście ostre płaskie; stan uwilgotnienia świeży; obecne odłamki zwietrzalej skały wapiennej; glina ciężka, pyłasta; brak węglanów burzących. transitional horizon, very pale brown (10 YR 8/3) when dry, dark yellowish-brown (10 YR 4/6) when moist, sharp and flat transition, moisture state: fresh, fragments of weathered limestone, heavy silty loam, lack of carbonates

Cca <48 cm, poziom skały macierzystej; barwa blade żółta (2.5Y 8/2) w stanie suchym, jasno żółtawo brązowa (2.5 Y 6/4) w stanie wilgotnym; obecne liczne odłamki skały wapiennej; stan uwilgotnienia świeży; glina średnia, pyłasta; obecne węglany burzące. parent rock horizon, pale yellow (2.5 Y 8/2) when dry, light yellowish-brown (2.5 Y 6/4) when moist, numerous fragments of limestone, moisture state: fresh, medium silty loam, carbonates present

Lokalizacja/location: Lublin, las-Dąbrowa/Dąbrowa forest
Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
51°11'23" N, 22°32'27" E

Rzeźba terenu/relief: wyżyna, falista/upland, wawy
Położenie odkrywkii/soil pit situation: płaskie o słabym
odchywie/flat with good outflow

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: piasek starych teras
akumulacyjnych/old river flood terraces sands

Szata roślinna/vegetation cover:
drzewostan/stand: *Pinus sylvestris*, *Quercus petraea*,
Acer platanoides

podszycit/underwood: *Carpinus betulus*, *Acer platanoides*
runo/undergrowth: *Rubus plicatus*, *Peridium aquilinum*

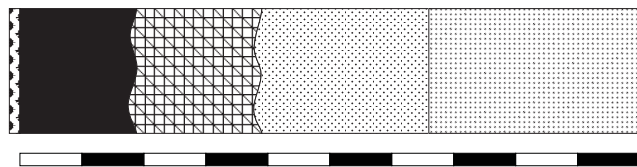
Użytkowanie/land-use form: las/forest

PROFIL 11/ PROFILE 11

Klasyfikacja/Classification:

wg PTGleB. (1989): gleba brunatno-rdzawa
acc. to PTG (1989): brown-rusty soil

wg FAO-UNESCO (1990): *Cambic Arenosol*
acc. to FAO-UNESCO (1990): *Cambic Arenosol*



O 0-3.0 cm, poziom organiczny zbudowany ze słabo rozłożonych liści i igieł, barwa ciemno szaro brązowa (2.5 Y 3/2), w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, organiczny poziom, derived from weakly decomposed leaves and needles, dark grey-brown (2.5 Y 3/2) when moist, sharp and flat transition, moisture state: dry

A 7-19 cm, poziom próchniczny, barwa jasno szara (10YR 7/1) w stanie suchym, bardzo ciemno brązowa (10 YR 2/2) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-swieży; piasek gliniasty lekki; brak węglanów burzających, humus horizon, light grey (10 YR 7/1) when dry, very dark brown (10 YR 2/2) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, light loamy sand, lack of carbonates

BbrBv 19-39 cm, poziom wzbogacenia; barwa bardzo blade brązowa (10YR 8/2) w stanie suchym, brązowa (10 YR 4/3) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-swieży; piasek słabo gliniasty; brak węglanów burzających, illuvial horizon, very pale brown (10 YR 8/2) when dry, brown (10 YR 4/3) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, weakly loamy sand, lack of carbonates

C1 39-65 cm, poziom skały macierzystej; barwa bardzo blade brązowa (10YR 8/2) w stanie suchym, żółtawo brązowa (10 YR 5/4) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe nieregularne; stan uwilgotnienia-swieży; obecne warstwy rdzawe i ciemnoszare; piasek słabo gliniasty; brak węglanów burzających, parent rock horizon, very pale brown (10 YR 8/2) when dry, yellowish-brown (10 YR 5/4) when moist, gradual and irregular transition, moisture state: fresh, rusty and dark-grey strata, weakly loamy sand, lack of carbonates

C2 65-150 cm, poziom skały macierzystej; barwa bardzo blade brązowa (10YR 8/2) w stanie suchym, jasno żółtawo brązowa (10 YR 6/4) w stanie wilgotnym; obecne wytrącenia Fe³⁺ w postaci rdzawych pasm; stan uwilgotnienia-swieży; piasek luźny; brak węglanów burzających, parent rock horizon, very pale brown (10 YR 8/2) when dry, light yellowish brown (10 YR 6/4) when moist, Fe³⁺ concretions in a form of rusty bands, moisture state: fresh, loose sand, lack of carbonates

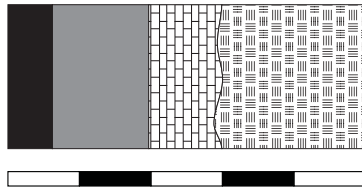
Lokalizacja/location: Lublin ul. Łęczyńska
Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
51°14'53"N, 22°35'46"E

Rzeźba terenu/relief: wyżynna, faliasta/upland, wawy
Polozenie odkrywkii/soil pit situation: płaskie o dobrym
odplywie/flat with good outflow
Rodzaj skały macierzystej/parent rock: gruz
budowlany/building rubble

Szata roślinna/vegetation cover: *Tilia cordata*, *Acer
pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Sorbus aucuparia*,
Poa annua, *Agropyron repens*, *Alopecurus pratensis*
Użytkowanie/land-use form: skwer/square

PROFIL 12/ PROFILE 12

Klasyfikacja/classification:
wg PTG (1989): gleba antropogeniczna o
niewyższalonym profilu
acc. to PTG (1989): anthropogenic soil with non-
developed profile
wg FAO-UNESCO (1990): *Urbic Anthrosol*
acc. to FAO-UNESCO (1990): *Urbic Anthrosol*



A1anca 0-5 cm, warstwa próchniczna; barwa szaro br' zowa (2.5 Y 5/2) w stanie suchym, bardzo ciemno br' zowa (10 YR 2/2) w stanie wilgotnym; przejęcie wyrażne, nieregularne; stan uwilgotnienia suchy; obecne liczne kamienie, drobne odłamki gruzu budowlanego; py' zwykły; obecne węglany burz' ce. humus layer, grey-brown (2.5 Y 5/2) when dry, very dark brown (10 YR 2/2) when moist, clear and irregular transition, moisture state: dry, numerous stones, little fragments of rubble, silt, carbonates present

IIA2an 5-20 cm, warstwa próchniczna; barwa szaro br' zowa (2.5 Y 5/2) w stanie suchym, bardzo ciemno szaro br' zowa (2,5 Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejęcie ostre, p'askie; stan uwilgotnienia suchy; obecne drobne odłamki gruzu budowlanego; piasek gliniasty, moczny, pylasty; brak węglanów burz' cych. humus layer, grey-brown (2.5 Y 5/2) when dry, vey dark grey-brown (2.5 Y 3/1) when moist, shamp and flat transition, moisture state: dry, little fragments of rubble, heavy loamy silty sand, lack of carbonates

IIC1anca 20-30 cm, warstwa skały macierzystej; barwa szaro br' zowa (2.5 Y 5/2) w stanie suchym, ciemna szaro br' zowa (2,5 Y 4/2) w stanie wilgotnym; przejęcie ostre, pośladowane; stan uwilgotnienia owięzy; obecne liczne kamienie, odłamki gruzu budowlanego; piasek gliniasty moczny, pylasty; obecne węglany burz' ce. parent rock layer, grey-brown (2.5 Y 5/2) when dry, dark grey-brown (2.5 Y 4/2) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: fresh, numerous stones, fragments of rubble, heavy loamy silty sand, carbonates present

IIC2anca 30-50 cm, warstwa skały macierzystej; barwa szaro br' zowa (2.5 Y 5/2) w stanie suchym, bardzo ciemna szaro br' zowa (2,5 Y 3/2) w stanie wilgotnym; obecne różnej wielkości kamienie, odłamki gruzu budowlanego; stan uwilgotnienia owięzy; py' zwykły; obecne węglany burz' ce. parent rock layer, grey-brown (2.5 Y 5/2) when dry, very dark grey-brown (2.5 Y 3/2) when moist, stone of different size, fragments of rubble, moisture state: fresh, silt, carbonates present

Lokalizacja/location: Lublin, okolice zakładu chemicznego „Permedia”

Współrzędne geograficzne/geographical coordinates: 51°13'57" N, 22°37'01" E

Rzeźba terenu/relief: wyżyna, falista/upland, wawy

Poleżenie odkrywkowe/soil pit situation: płaskie o dobrym odpływie/flat with good outflow

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: mułki piaszczyste/sandy oozees

Szata roślinna/vegetation cover: *Papaver rhoeas*, *Anthemis arvensis*, *Centaurea cyanus*, *Tanacetum vulgare*, *Solidago gigantea*, *Medicago lupulina*, *Stellaria holostea*, *Chrysium oleraceum*

Użytkowanie/land-use form: nieużytek/wasteland

PROFIL 13/ PROFILE 13

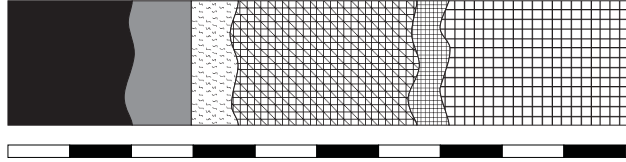
Klasyfikacja/classification:

wg PTG (1989): gleba płowa typowa

acc. to PTG (1989): typical lessive soil

wg FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*

acc. to FAO-UNESCO (1990): *Haplic Luvisol*



Ap1 0-20 cm, poziom próchniczny, omy; barwa jasno brązowo szara (2.5 Y 6/2) w stanie suchym, bardzo ciemno szaro brązowa (2.5 Y 3/2) w stanie wilgotnym; przejście stopniowe, pofalowane; stan uwilgotnienia-swieży; pyl zwięzły; brak węglanów burzających. humus horizon, arable, light brown-grey (2.5 Y 6/2) when dry, very dark grey-brown (2.5 Y 3/2) when moist, gradual and wavy transition, moisture state: fresh, silt, lack of carbonates

Ap2 20-30 cm, poziom próchniczny, omy; barwa bardzo blade brązowa (10 YR 7/3) w stanie suchym, ciemno blade brązowa (10 YR 4/2) w stanie wilgotnym; przejście ostre płaskie; stan uwilgotnienia-swieży; pyl zwięzły; obecne węglany burzące. humus horizon, arable, very pale brown (10 YR 7/3) when dry, dark pale brown (10 YR 4/2) when moist, sharp and flat transition, moisture state: fresh, silt, carbonates present

IIAEet 30-36 cm, poziom przejściowy; barwa bardzo blade brązowa (10 YR 7/4) w stanie suchym, żółto brązowa (10 YR 5/4) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-swieży; gлина lekka, pylasta; brak węglanów burzających. transitional horizon, very pale brown (10 YR 7/4) when dry, yellow-brown (10 YR 5/4) when moist, clear and wavy horizon, moisture state: fresh, light silty loam, lack of carbonates

IIBt 36-66 cm, poziom wzbogacenia; barwa bardzo blade brązowa (10 YR 7/4) w stanie suchym, żółto brązowa (10 YR 5/4) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne pofalowane; stan uwilgotnienia-swieży; obecne cienne plamy po dużych korzeniach, gлина średnia, pylasta; obecne węglany burzące. illuvial horizon, very pale brown (10 YR 7/4) when dry, yellow-brown (10 YR 5/4) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, dark mottles after large roots presence, medium silty loam, carbonates present

IIBt/C 66-71 cm, poziom mieszany; barwa blade żółta (2.5 Y 8/4) w stanie suchym, jasno oliwkowo brązowa (2.5 Y 5/4) w stanie wilgotnym; przejście ostre, burzające; obecne liczne odłamki zwietrzliny, obecne wytrącenia Fe²⁺ w postaci brązowych plam; stan uwilgotnienia-swieży; gлина średnia, pylasta; brak węglanów mixed horizon, pale yellow (2.5 Y 8/4) when dry, light olive-brown (2.5 Y 5/4) when moist, sharp and wavy transition, numerous fragments of weathered rock, Fe²⁺ concretions in a form of brown mottles, moisture state: fresh, medium silty loam, lack of carbonates

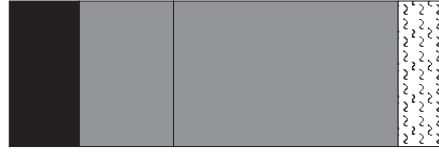
IICca > 71 cm, poziom skały macierzystej; barwa biała (2.5 Y 8/1) w stanie suchym, jasno żółto brązowa (2.5 Y 6/4) w stanie wilgotnym; obecne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych plam; stan uwilgotnienia-swieży; gлина średnia, pylasta; obecne węglany burzące. parent rock horizon, white (2.5 Y 8/1) when dry, light yellow-brown (2.5 Y 6/4) when moist, Fe³⁺ concretions in a form of brown mottles, moisture state: fresh, medium silty loam, carbonates present

Lokalizacja/location: Lublin, ul. Wapienna
Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:
 51°13' 56" N, 22°32' 40" E
Rzeźba terenu/relief: wyżynna, równa/upland, flat
Położenie odkrywkowy/soil pit situation: płaskie o słabym
 odpływie/fla with poor outflow
Rodzaj skały macierzystej/parent rock: torf
 przejściowy/transitional peat

Poziom wody gruntowej/groundwater level: 70 cm
Szata roślinna/vegetation cover: *Poa annua*,
Agropyron repens, *Daucus carota*, *Petroselinum*
crispum, *Beta vulgaris*
Użytkowanie/land-use form: ogródki
 działkowe/allotments

PROFIL 14/ PROFILE 14

Klasyfikacja/classification:
 wg PTG (1989): pararendzina antropogeniczna
 acc. to PTG (1989): anthropogenic pararendzina
 wg FAO-UNESCO (1990): *Urbic-Calcaric Regosol*
 acc. to FAO-UNESCO (1990): *Urbic-Calcaric Regosol*



A1anca

A1anca 0-10 cm, warstwa próchniczna; barwa szara (10YR 5/1) w stanie suchym; bardzo ciemno szara (10 YR 3/1) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, płaskie; stan uwilgotnienia wilgotny; obecne odpady z cukrowni; pył ilasty; obecne węglany burzące.
 humus layer, grey (10 YR 5/1) when dry, very dark grey (10 YR 3/1) when moist, clear and flat transition, moisture state: moist, wastes from sugar-plant, loamy silt, carbonates present

A2anca

A2anca 10-22 cm, warstwa próchniczna; barwa szara (10 YR 6/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (10 YR 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostre, płaskie; stan uwilgotnienia wilgotny; obecne odpady z cukrowni; pył ilasty; obecne węglany burzące
 humus layer, grey (10 YR 6/1) when dry, very dark grey (10 YR 3/1) when moist, sharp and flat transition, moisture state: moist, wastes from sugar-plant, loamy silt, carbonates present

A3anca

A3anca 22-54 cm; warstwa skały macierzystej; barwa ciemno szara (10 YR 4/1) w stanie suchym, czarna (10 YR 2/1) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, płaskie; stan uwilgotnienia wilgotny; obecne fragmenty muszelek, odpady z cukrowni; pył ilasty; obecne węglany burzące
 parent rock layer, dark grey (10 YR 4/1) when dry, black (10 YR 2/1) when moist, clear and flat transition, moisture state: moist, shell fragments, wastes from sugar-plant, loamy silt, carbonates present

Otrnica

Otrnica >54 cm; warstwa skały macierzystej; barwa bardzo ciemno szara (10 YR 3/1) w stanie suchym, czarna (10 YR 2/1) w stanie wilgotnym; obecne fragmenty muszelek; stan uwilgotnienia mokry; obecne węglany burzące.
 parent rock layer, very dark grey (10 YR 3/1) when dry, black (10 YR 2/1) when moist, shell fragments, moisture state: wet, carbonates present

Lokalizacja/location: Lublin, ul Wyrwasa

Współrzędne geograficzne/geographical coordinates:

51°15'42" N, 22°31'48" E

Rzeźba terenu/relief: wyżyna, pagórkowata/upland, wawy

Położenie odkrywkii/soil pit situation: stok środkowy/medium slope

Rodzaj skały macierzystej/parent rock: less/loess

Szata roślinna/vegetation cover: *Urtica dioica*,

perforatum, *Rubus plicans*, *Galium mollugo*, *Hypericum*

Euphorbia cyparissias

Użytkowanie/hand-use form: nieużytek/wasteland

PROFIL 15/ PROFILE 15

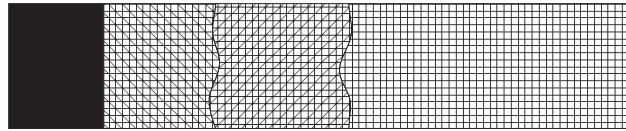
Klasyfikacja/classification:

wg PTG (1989): gleba brunatna właściwa

acc. to PTG (1989): proper brown soil

wg FAO-UNESCO (1990): *Calcic Cambisol*

acc. to FAO-UNESCO (1990): *Calcic Cambisol*



ABbr

ABbr 0-15 cm, poziom orny; barwa brązowa (10YR 5/3) w stanie suchym, bardzo ciemno szaro brązowy (10 YR 3/2) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, nieregularne; stan uwilgotnienia-suchy; pył ilasty; brak węglanów burzacych, arable horizon, brown (10 YR 5/3) when dry, very dark grey-brown (10 YR 3/2) when moist, clear and irregular transition, moisture state: dry, loamy silt, lack of carbonates

B1brca

B1brca 15-33 cm, poziom wzbogacenia; barwa jasno żółto brązowa (10YR 6/4) w stanie suchym, ciemno żółto brązowa (10 YR 3/4) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne; pofalowane; stan uwilgotnienia suchy; pył ilasty; w niewielkim stopniu obecne węglany burzace, illuvial horizon, light yellow-brown (10 YR 6/4) when dry, dark yellow-brown (10 YR 3/4) when moist, clear and wavy transition, moisture state: dry, loamy silt, carbonates present in small amount

B2brca

B2brca 33-54 cm, poziom wzbogacenia; barwa bardzo blade brązowa (10YR 7/4) w stanie suchym, brązowa (10 YR 4/3) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, pofalowane; stan uwilgotnienia-swieży; pył ilasty; obecne węglany burzace, illuvial horizon, very pale brown (10 YR 7/4) when dry, brown (10 YR 4/3) when moist, clear and wavy transition, moisture state: fresh, loamy silt, carbonates present

BbrCca

BbrCca 54-100 cm, poziom przejściowy; barwa bardzo blade brązowa (10YR 8/4) w stanie suchym, ciemno żółto brązowa (10 YR 4/4) w stanie wilgotnym; przejście wyraźne, nieregularne; stan uwilgotnienia-swieży; obecne warstwy jasno- ciemnobrązowe; pył ilasty; obecne węglany burzace, transitional horizon, very pale brown (10 YR 8/4) when dry, dark yellow-brown (10 YR 4/4) when moist, clear and irregular transition, moisture state: fresh, light- and dark brown strata, loamy silt, carbonates present

C 100-114 cm, poziom skały macierzystej; barwa blade żółta (2,5 Y 7/3) w stanie suchym, oliwkowo brązowa (2,5 Y 5/3) w stanie wilgotnym; przejście ostre, pofalowane; stan uwilgotnienia-swieży; obecne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych plam; pył ilasty; brak węglanów burzacych, parent rock horizon, pale yellow (2,5 Y 7/3 when dry, olive-brown (2,5 Y 5/3) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: fresh, Fe³⁺ concretions in a form of brown mottles, loamy silt, lack of carbonates

Cca >=114 cm, poziom skały macierzystej; barwa bardzo blade brązowa (10YR 7/3) w stanie suchym, brązowa (10 YR 5/5) w stanie wilgotnym; obecne wytrącenia Fe³⁺ w postaci brązowych zacieków; stan uwilgotnienia-swieży; pył ilasty; obecne węglany burzace, parent rock horizon, very pale brown (10 YR 7/3) when dry, brown (10 YR 5/5) when moist, Fe³⁺ concretions in a form of brown streaks, moisture state: fresh, loamy silt, carbonates present

Lokalizacja/location: Lublin, ul. Łagiewnicka, w sąsiedztwie oczyszczalni ścieków w Hajdowie/near sewage treatment plant in Hajdów

Współrzędne geograficzne/geographical coordinates: 51°15'51" N, 22°37'17" E

Rzeźba terenu/relief: wyżynna, falista/upland, wavy

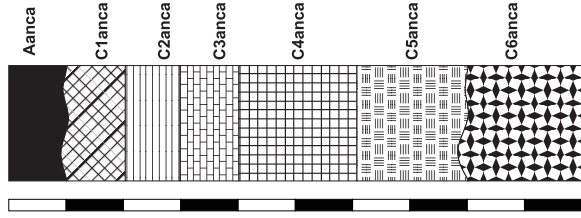
Położenie odkrywkowy/soil pit situation: płaskie o dobrym odpływie/flat with good outflow

Rodzaj skały macierzystej: gruz budowlany

Szata roślinna/vegetation cover: *Trifolium repens*, *Trifolium hybridum*, *Solidago gigantea*, *Cichorium intybus*, *Tanacetum vulgare*, *Ranunc obnosifolius*.

Centaurea cyanus, *Taraxacum officinale*, *Equisetum arvense*, *Polypogon bistorta*, *Achillea millefolium*, *Agropyron repens*, *Poa annua*, *Galium mollugo*, *Cirsium arvense*

Użytkowanie/land-use form: nieużytek/wasteland



A6anca 0-10 cm, poziom próchniczny; barwa szara (2.5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2.5Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostra, uwilgotnienia suche; obecne liczne kamienie, drobne odłamki gruzu budowlanego; gлина lekka silnie spieszczona; obecne węglany burzaące. humus horizon, grey (2.5 Y 5/1) when dry, very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: dry, numerous stones, small fragments of building rubble, light loam, carbonates present

C1anca 10-20 cm, warstwa skały macierzystej; barwa szara (2.5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2.5Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostra, poprzerywane; stan uwilgotnienia świeży; obecne liczne kamienie, drobne odłamki gruzu budowlanego; piasek gliniasty, moczny, pylasty; obecne węglany burzaące. parent rock layer, grey (2.5 Y 5/1) when dry, very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist, sharp and non-continuous transition, moisture state: fresh, numerous stones, small fragments of rubble, heavy loamy silty sand, carbonates present

C2anca 20-30 cm, warstwa skały macierzystej; barwa ciemno szara (2.5Y 4/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2.5Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostra, poprzerywane; stan uwilgotnienia świeży; obecne liczne kamienie, drobne odłamki gruzu budowlanego; piasek gliniasty, moczny, pylasty; obecne węglany burzaące. parent rock layer, dark grey (2.5 Y 4/1) when dry, very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist, sharp and non-continuous transition, moisture state: fresh, numerous stones, small fragments of rubble, heavy loamy silty sand, carbonates present

C3anca 30-40 cm, warstwa skały macierzystej; barwa ciemno szara (2.5Y 4/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2.5Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostra, poprzerywane; stan uwilgotnienia świeży; obecne liczne kamienie, fragmenty siatki ogrodzeniowej; odłamki gruzu budowlanego; piasek gliniasty, moczny, pylasty; obecne węglany burzaące. parent rock layer, dark grey (2.5 Y 4/1) when dry, very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist, sharp and non-continuous transition, moisture state: fresh, numerous stones, fencing net fragments, rubble elements, heavy loamy silty sand, carbonates present

C4anca 40-60 cm, warstwa skały macierzystej; barwa ciemno szara (2.5Y 4/1) w stanie suchym, czarna (2.5Y 2.5/1) w stanie wilgotnym; przejście ostra, poprzerywane; stan uwilgotnienia świeży; obecne kamienie, odłamki gruzu budowlanego; piasek gliniasty, moczny, pylasty; obecne węglany burzaące. parent rock layer, dark grey (2.5 Y 4/1) when dry, black (2.5 Y 2.5/1) when moist, sharp and non-continuous transition, moisture state: fresh, stones, building rubble fragments, heavy loamy silty sand, carbonates present

C5anca 60-80 cm, warstwa skały macierzystej; barwa szara (2.5Y 5/1) w stanie suchym, bardzo ciemno szara (2.5Y 3/1) w stanie wilgotnym; przejście ostra, pofalowane; stan uwilgotnienia świeży; obecne kamienie, odłamki gruzu budowlanego; piasek gliniasty, moczny; obecne węglany burzaące. parent rock layer, grey (2.5 Y 5/1) when dry, very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: fresh, stones, rubble fragments, heavy loamy sand, carbonates present

C6anca > 100cm, warstwa skały macierzystej; barwa ciemno szara (2.5Y 4/1) w stanie suchym, czarna (2.5Y 2.5/1) w stanie wilgotnym; przejście ostra, pofalowane; stan uwilgotnienia wilgotny; obecne kamienie różnej twardości, fragmenty kabli, siatki ogrodzeniowej; odłamki gruzu budowlanego; piasek gliniasty, moczny; obecne węglany burzaące, poziom wody gruntowej 170 cm. parent rock layer, grey (2.5 Y 5/1) when dry, very dark grey (2.5 Y 3/1) when moist, sharp and wavy transition, moisture state: moist, stones of different hardness, cable and fencing net elements, rubble fragments, heavy loamy sand, carbonates present, groundwater level at 170 cm

PROFIL 16/ PROFILE 16

Klasyfikacja/classification:

wg PTG (1989): gleba antropogeniczna

o niewykształconym profilu

acc. to PTG (1989): antropogenic soil with non-

developed profile

wg FAO-UNESCO (1990): *Urbic Anthrosol*

acc. to FAO-UNESCO (1990): *Urbic Anthrosol*

Tabela 1. Skład granulometryczny badanych gleb Lublina
Table 1. Granulometric composition of the investigated soils of Lublin city

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Części szkielet. (%) Skeleton particles (%)	Frakcje granulometryczne (%) – Granulometric fractions (%)						
					1-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,005	0,005-0,002	<0,002	
1			4	5	6	7	8	9	10	11	
		O	1-0	–	–	–	–	–	–	–	
		A	0-7	–	0,4	10,6	50	22	4	13	
	Czesławice, okolice	AEet	7-16	–	0,4	9,6	50	23	5	12	
	Należczowa (las – forest)	Bt	16-50	–	0,3	10,7	42	19	3	25	
		BitC	50-70	–	0,3	13,7	46	17	3	20	
		C	70-129	–	0,3	11,7	57	14	3	14	
		Cca	<129	–	0,6	10,4	51	20	4	14	
2		ApBt	0-15	–	0,2	11,8	46	24	5	13	
		B1t	15-40	–	0,2	8,8	37	22	5	27	
	Czesławice, okolice	B2t	40-65	–	0,1	8,9	34	21	5	31	
	Należczowa (pole – field)	B2tC	65-90	–	0,1	7,9	36	25	5	26	
		C	90-150	–	0,2	9,8	39	25	5	21	
		Cca	<150	–	0,1	9,9	50	22	4	14	
3		O	3-0	–	–	–	–	–	–	–	
		A	0-23	–	0,4	12,6	47	24	7	9	
	Lublin, Rezerwat "Stary Gaj" (las – forest)	Eet	23-48	–	0,5	12,5	46	26	8	7	
		EetBt	48-62	–	0,6	14,4	42	27	5	11	
		Bt	62-93	–	0,3	11,7	44	19	4	21	
		BitC	93-160	–	0,5	12,5	49	20	3	15	
		C	>160	–	0,6	13,4	50	20	3	13	

Tabela 1. cd.
Table 1. Cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	Lublin "Stary Gaj" (pole – field)	Ap	0-33	–	0,8	15,2	43	25	5	11
		Bt	33-66	–	0,4	11,6	40	19	4	25
		BitC	66-82	–	0,8	14,2	51	18	3	13
		C	82-146	–	0,5	12,5	49	20	3	15
		Cca	<146	–	0,6	13,4	50	20	3	13
5	Lublin, ul. Działkowa (ogr. dział. – allotment)	Aanca	0-46	12,2	11,9	10,1	31	22	11	14
		IIC1anca	46-72	26,4	33,7	7,3	20	16	4	19
		IIC2anca	72-107	20,4	54,9	4,1	16	11	4	10
		IIC3anca	107-117	20,4	54,2	3,8	15	11	3	13
6	Lublin, elektro-ciepl. "Mega-Term" (nieuz. – wasteland)	Aanca	0-28	23,3	64,3	6,7	8	10	5	6
		C1anca	28-82	30,1	53,5	6,5	13	9	4	14
		C2anca	82-100	36,4	32,0	13,0	17	13	6	19
7	Lublin, ul. Wolska, (LZPS) (skwer – square)	Aanca	0-4	4,7	50,9	6,1	21	10	6	6
		IIC1anca	4-12	10,9	72,1	4,9	8	4	4	7
		IIC2anca	12-18	40,9	68,0	6,0	8	7	5	6
		IIC3anca	18-38	18,7	65,9	5,1	11	6	3	9
		IIC4anca	>38	8,3	60,9	6,1	14	8	5	6

Tabela 1. cd.
Table 1. Cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	Lublin, Hajdów (nieuż. – wasteland)	A1	0-5	13,2	63,7	6,3	19	7	2	2
		A2	5-30	6,6	63,0	8,0	18	7	2	2
		C1	30-50	4,6	80,2	6,8	8	1	2	2
		C2	50-70	6,6	86,4	4,6	5	1	1	2
		C3	70-85	7,7	74,2	6,8	11	4	1	3
		C4	85-93	12	90,7	3,3	3	1	0	2
		C5	93-106	7,4	96,7	1,3	1	0	0	1
		C6	106-120	8,9	97,9	1,1	0	0	0	0
		C7	120-160	13,6	97,9	1,1	0	0	1	0
9	Lublin, Zadęcie (odlog. pole – fallow)	C8	160-180	14,7	97,9	1,1	0	0	1	0
		C9	180-190	15,6	92,5	1,5	2	1	1	2
		Aapca	0-20	–	31,8	15,2	22	21	7	3
		A1ca	20-28	–	35,6	13,4	21	18	6	6
		A2ca	28-51	–	43,2	11,8	19	14	4	8
		C1cagg	51-80	–	49,4	10,6	19	12	3	6
		C2cagg	>80	–	–	–	–	–	–	–
		Ap	0-24	5,9	36,0	10,0	22	11	3	18
		BbrC	24-48	43,1	15,8	11,2	14	11	6	42
10	Lublin, ul. Bryńskiego (odlog. pole – fallow)	Cca	>48	59,1	21,3	20,7	17	13	6	22
		O	3-0	–	–	–	–	–	–	–
		A	0-19	–	69,1	4,9	14	7	4	1
		BbrBv	19-39	–	74,4	4,6	13	6	0	2
		C1	39-65	–	80,1	8,9	6	3	1	1
		C2	65-150	–	81,0	8,0	6	3	1	1

Tabela 1. cd.
Table 1. Cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	Lublin, ul. Łęczyńska (skwer – square)	AIanca	0-5	14,9	36,7	16,3	24	15	6	2
		IIA2an	5-20	2,4	43,3	12,7	24	13	4	3
		IICIanca	20-30	–	48,7	11,3	20	12	6	2
		IIIC2anca	30-50	5,1	33,0	15,0	30	13	5	4
		AIp	0-20	–	29,2	10,8	30	19	5	6
13	Lublin, Permedia (nieuż. – wasteland)	A2p	20-30	–	28,9	11,1	30	19	5	6
		IIAEet	30-36	–	30,7	10,3	29	17	4	9
		IIIBt	36-66	–	30,6	8,4	25	15	2	19
		IIIBt/C	66-71	23,5	35,5	11,5	14	8	2	29
		IIICca	> 71	72,6	26,5	14,5	14	12	9	24
14	Lublin, ul. Wapienna (ogr. Dział. – allotment)	AIanca	0-10	1,4	11,5	16,5	30	26	13	3
		A2anca	10-22	1,1	12,0	16,0	34	25	9	4
		A3anca	22-54	3,3	11,0	17,0	34	25	8	5
		Otmica	>54	–	–	–	–	–	–	–
		ABbr	0-15	–	0,8	11,2	42	23	4	19
15	Lublin, ul. Wyrwasa (nieuż. – wasteland)	B1brca	15-33	–	0,5	12,5	44	18	2	23
		B2brca	33-54	–	0,6	11,4	47	20	3	18
		B2brCca	54-100	–	0,4	11,6	50	18	3	17
		C	100-114	–	0,3	12,7	49	19	3	16
		Cca	>114	–	0,2	11,8	51	20	2	15

Tabela 1. cd.
Table 1. Cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Aanca	0-10	13,2	53,4	7,6	16	10	5	8
		IIC1anca	10-20	16,6	52,0	12,0	17	7	5	7
		IIC2anca	20-30	14,6	53,6	10,4	16	8	5	7
		IIC3anca	30-40	16,6	52,3	9,7	19	8	4	7
		IIC4anca	40-60	17,7	52,3	10,7	17	8	5	7
		IIC5anca	60-80	22,8	60,0	9,0	14	7	3	7
		IIC6anca	80-100	37,4	59,3	8,7	15	7	3	7
16	Lublin, ul. Łagiewnicka (nieuz. – wasteland)	IIC7anca	>100	38,9	60,8	9,2	14	6	3	7

Tabela 2. Sorpcyjne właściwości badanych gleb miasta Lublina ($\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 2. Sorptive properties of the investigated soils of Lublin city ($\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$)

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	H^+	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
1	Czesławice, okolice Nałęczowa (las – forest)	O	1-0	46,77	0,26	2,66	1,55	23,31
		A	0-7	15,72	0,10	0,27	0,05	0,44
		AEet	7-16	37,88	0,09	0,11	0,02	0,13
		Bt	16-50	5,84	0,11	0,22	0,23	3,48
		BtC	50-70	3,29	0,11	0,18	0,22	3,74
		C	70-129	1,75	0,11	0,15	0,20	3,86
		Cca	<129	0,38	0,07	0,24	2,07	60,07
2	Czesławice, okolice Nałęczowa (pole – field)	ApBt	0-15	6,05	0,08	0,50	0,79	3,82
		B1t	15-40	5,28	0,04	0,21	0,76	2,94
		B2t	40-65	4,86	0,04	0,17	0,49	2,65
		B2tC	65-90	1,85	0,03	0,14	1,13	3,78
		C	90-150	1,44	0,07	0,20	1,57	5,43
		Cca	<150	0,37	0,06	0,29	0,63	49,63
		O	3-0	19,65	0,06	0,91	2,21	14,36
3	Lublin, Rezerwat "Stary Gaj" (las – forest)	A	0-23	6,16	0,43	0,20	0,03	0,64
		Eet	23-48	4,44	0,12	0,09	0,16	0,53
		EetBt	48-62	3,50	0,04	0,12	0,16	1,75
		Bt	62-93	3,80	0,06	0,24	1,36	5,56
		BtC	93-160	2,72	0,06	0,20	1,24	5,80
		C	>160	2,16	0,07	0,17	1,14	5,05

Tabela 2. cd.
Table 2. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	S (cmol(+)·kg ⁻¹)	T	V	V _H ⁺	V _{Na} ⁺	V _K ⁺	V _{Mg} ²⁺	V _{Ca} ²⁺	(%)	
1	Czesławice, okolice Należczowa (las – forest)	O	1-0	27,78	74,55	37,26	62,74	0,35	3,57	2,07	31,26		
		A	0-7	0,86	16,58	5,17	94,83	0,60	1,61	0,31	2,65		
		AEet	7-16	0,34	38,22	0,89	99,11	0,24	0,28	0,04	0,33		
		Bt	16-50	4,04	9,87	40,88	59,12	1,06	2,19	2,35	35,28		
		BtC	50-70	4,25	7,54	56,36	43,64	1,50	2,38	2,86	49,62		
		C	70-129	4,33	6,08	71,25	28,75	1,87	2,49	3,31	63,58		
		Cca	<129	62,44	62,82	99,40	0,60	0,11	0,39	3,29	95,62		
2	Czesławice, okolice Należczowa (pole – field)	ApBt	0-15	5,19	11,25	46,16	53,84	0,69	4,46	7,01	34,00		
		B1t	15-40	3,95	9,22	42,77	57,23	0,46	2,30	8,20	31,82		
		B2t	40-65	3,35	8,20	40,77	59,23	0,46	2,01	6,00	32,30		
		B2tC	65-90	5,08	6,93	73,35	26,65	0,50	2,05	16,24	54,56		
		C	90-150	7,26	8,70	83,47	16,53	0,77	2,26	18,07	62,37		
		Cca	<150	50,61	50,98	99,28	0,72	0,11	0,57	1,24	97,36		
		O	3-0	17,54	37,19	47,17	52,83	0,16	2,45	5,95	38,61		
3	Lublin, Rezerwat "Stary Gaj" (las – forest)	A	0-23	1,24	7,40	16,78	83,22	5,79	2,75	0,46	8,69		
		Eet	23-48	0,58	5,02	11,51	88,49	2,37	1,72	3,15	10,58		
		EetBt	48-62	2,07	5,57	37,19	62,81	0,78	2,23	2,82	31,35		
		Bt	62-93	7,22	11,02	65,51	34,49	0,53	2,14	12,38	50,45		
		BtC	93-160	7,30	10,03	72,85	27,15	0,63	2,03	12,34	57,85		
C	>160	6,43	8,59	74,88	25,12	0,85	2,01	13,28	58,75				

Tabela 2. cd.
Table 2. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	H ⁺					Ca ²⁺
				Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	(cmol(±)·kg ⁻¹)		
4	Lublin, "Stary Gaj" (pole – field)	Ap	0-33	0,03	0,49	0,74	3,75		
		Bt	33-66	0,05	0,26	1,69	6,10		
		BtC	66-82	0,03	0,14	1,13	3,65		
		C	82-146	0,05	0,17	1,49	4,69		
		Cca	<146	0,05	0,27	0,64	48,48		
5	Lublin, ul. Działkowa (ogr. dział. – allotment)	Aanca	0-46	0,11	0,56	22,60	42,79		
		IIC1anca	46-72	0,15	0,22	6,76	15,79		
		IIIC2anca	72-107	0,21	0,17	0,37	41,01		
		IIIC3anca	107-117	0,23	0,19	0,49	41,49		
6	Lublin, elektr o- ciepl. "Mega -Tem" (nieuż. – wasteland)	Aanca	0-28	0,07	0,71	1,05	57,58		
		C1anca	28-82	0,22	0,51	2,62	60,42		
		C2anca	82-100	0,82	0,22	2,07	56,10		
		Aanca	0-4	0,09	1,29	1,96	42,02		
7	Lublin, ul. Wolska, (LZPS) (skwer – square)	IIC1anca	4-12	0,06	0,46	0,88	39,85		
		IIC2anca	12-18	0,13	0,46	1,21	48,05		
		IIC3anca	18-38	0,11	0,60	1,24	52,42		
		IIC4anca	>38	0,08	0,52	1,41	46,36		

Tabela 2. cd.
Table 2. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	S (cmol(+)kg ⁻¹)	T	V	V _H ⁺	V _{Na} ⁺	V _K ⁺	V _{Mg} ²⁺	V _{Ca} ²⁺	(%)	
4	Lublin, "Stary Gaj" (pole – field)	Ap	0-33	5,01	10,06	49,77	50,23	0,29	4,90	7,36	37,23		
		Bt	33-66	8,10	12,08	67,08	32,92	0,44	2,15	14,01	50,49		
		BtC	66-82	4,95	6,90	71,76	28,24	0,50	2,06	16,32	52,88		
		C	82-146	6,40	8,11	78,91	21,09	0,63	2,04	18,43	57,81		
		Cca	<146	49,44	49,68	99,51	0,49	0,10	0,54	1,29	97,59		
5	Lublin, ul. Działkowa (ogr. dział. – allotment)	Aanca	0-46	66,06	67,04	98,54	1,46	0,16	0,83	33,72	63,83		
		IIC1anca	46-72	22,91	23,32	98,27	1,73	0,62	0,94	29,01	67,70		
		IIC2anca	72-107	41,76	42,00	99,42	0,58	0,50	0,40	0,88	97,64		
		IIC3anca	107-117	42,40	42,65	99,43	0,57	0,54	0,45	1,14	97,30		
6	Lublin, elektro-ciepl. "Mega-Term" (nieuż. – wasteland)	Aanca	0-28	59,40	59,89	99,18	0,82	0,12	1,18	1,75	96,14		
		C1anca	28-82	63,77	64,29	99,19	0,81	0,34	0,80	4,07	93,98		
		C2anca	82-100	59,21	59,57	99,40	0,60	1,38	0,37	3,48	94,17		
		Aanca	0-4	45,36	46,44	97,68	2,32	0,19	2,77	4,23	90,49		
7	Lublin, ul. Wolska, (LZPS) (skwer – square)	IIC1anca	4-12	41,26	41,79	98,73	1,27	0,15	1,10	2,11	95,36		
		IIC2anca	12-18	49,86	50,93	97,89	2,11	0,27	0,91	2,38	94,34		
		IIC3anca	18-38	54,37	54,83	99,17	0,83	0,20	1,10	2,26	95,61		
		IIC4anca	>38	48,36	49,05	98,60	1,40	0,16	1,06	2,88	94,51		

Tabela 2. cd
Table 2. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	H ⁺					Ca ²⁺
				Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	(cmol(+)-kg ⁻¹)		
8	Lublin, Hajdów (nieuż. – wasteland)	A1	0-5	0,06	0,20	8,78			20,19
		A2	5-30	0,06	0,17	4,93			22,07
		C1	30-50	0,07	0,11	3,53			17,33
		C2	50-70	0,05	0,08	2,76			15,60
		C3	70-85	0,06	0,09	3,62			19,97
		C4	85-93	0,07	0,08	2,66			15,14
		C5	93-106	0,28	0,07	1,66			8,53
		C6	106-120	0,06	0,07	1,77			10,10
		C7	120-160	0,05	0,06	1,12			2,93
9	Lublin, Zadebie (odlog. pole – fallow)	C8	160-180	0,05	0,06	0,98			2,84
		C9	180-190	0,06	0,08	1,67			13,02
		Aapca	0-20	0,08	0,42	10,93			56,93
		A1ca	20-28	0,08	0,22	6,07			37,72
		A2ca	28-51	0,06	0,20	4,19			34,21
		C1cagg	51-80	0,06	0,20	4,13			34,92
		C2cagg	>80	0,17	0,66	11,34			50,50
		Ap	0-24	0,05	0,47	0,71			12,98
		BbrC	24-48	0,78	0,46	0,77			17,22
10	Lublin, ul. Bryńskiego (odlog. pole – fallow)	Cca	>48	0,34	0,49	0,44			70,78

Tabela 2. cd
Table 2. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	H ⁺	Na ⁺	K ⁺ (cmol(+)·kg ⁻¹)	Mg ²⁺	Ca ²⁺
11	Lublin, ul. Osmolicka, (las – forest)	O	3-0	17,48	0,04	0,49	1,26	7,15
		A	0-19	6,42	0,02	0,09	0,06	0,27
		BbrBv	19-39	3,00	0,02	0,04	0,01	0,07
		C1	39-65	1,98	0,02	0,04	0,01	0,05
		C2	65-150	1,77	0,02	0,04	0,06	0,25
12	Lublin, ul. Łęczyńska (skwer – square)	A1anca	0-5	0,72	0,07	1,29	0,59	30,49
		IIA2an	5-20	0,56	0,04	0,83	0,42	30,94
		IIIC1anca	20-30	0,31	0,06	0,94	0,40	43,07
		IIIC2anca	30-50	0,28	0,09	0,76	0,47	34,46
13	Lublin, Permedia (nieuż. – wasteland)	A1p	0-20	0,77	0,03	0,15	0,20	6,65
		A2p	20-30	0,77	0,06	0,10	0,12	7,31
		IIAEet	30-36	0,40	0,05	0,10	0,16	6,28
		IIIBt	36-66	0,55	0,06	0,18	0,98	23,74
		IIIBt/C	66-71	0,58	0,13	0,40	0,45	45,51
		IIICca	> 71	0,52	0,15	0,27	0,30	47,17
14	Lublin, ul. Wapienna (ogr. dział. – allotment)	A1anca	0-10	0,86	0,13	0,71	2,92	83,98
		A2anca	10-22	0,82	0,20	0,38	2,65	73,74
		A3anca	22-54	1,09	0,43	0,50	5,48	82,99
		Otnica	>54	1,07	0,70	0,59	6,69	96,01

Tabela 2. cd.
Table 2. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	S (cmol(+)·kg ⁻¹)	T	V	V _H ⁺	V _{Na} ⁺	V _K ⁺	V _{Mg} ²⁺	V _{Ca} ²⁺	(%)	
11	Lublin, ul. Osmolicka, (las – forest)	O	3-0	8,94	26,42	33,84	66,16	0,15	1,85	4,76	27,08		
		A	0-19	0,45	6,87	6,56	93,44	0,33	1,36	0,93	3,95		
		BbrBv	19-39	0,14	3,14	4,55	95,45	0,56	1,35	0,39	2,26		
		C1	39-65	0,12	2,09	5,58	94,42	0,84	1,87	0,70	2,17		
		C2	65-150	0,37	2,14	17,11	82,89	0,85	1,80	2,87	11,59		
		A1anca	0-5	32,44	33,16	97,83	2,17	0,21	3,89	1,79	91,94		
12	Lublin, ul. Łęczyńska (skwer – square)	IIA2an	5-20	32,22	32,78	98,30	1,70	0,12	2,52	1,29	94,37		
		IIC1anca	20-30	44,46	44,78	99,30	0,70	0,13	2,09	0,89	96,18		
		IIIC2anca	30-50	35,78	36,06	99,22	0,78	0,24	2,10	1,31	95,57		
		A1p	0-20	7,03	7,80	90,14	9,86	0,44	1,88	2,56	85,27		
		A2p	20-30	7,59	8,35	90,83	9,17	0,76	1,19	1,41	87,47		
		IIAEet	30-36	6,59	6,99	94,24	5,76	0,77	1,37	2,23	89,87		
13	Lublin, Permedia (nieuż. – wasteland)	IIBt	36-66	24,96	25,51	97,84	2,16	0,24	0,70	3,85	93,06		
		IIBt/C	66-71	46,50	47,08	98,77	1,23	0,29	0,85	0,95	96,68		
		IICca	> 71	47,89	48,42	98,92	1,08	0,31	0,56	0,62	97,42		
		A1anca	0-10	87,75	88,61	99,03	0,97	0,15	0,80	3,30	94,77		
14	Lublin, ul. Wapienna (ogr. dział. – allotment)	A2anca	10-22	76,96	77,78	98,95	1,05	0,25	0,48	3,41	94,80		
		A3anca	22-54	89,40	90,48	98,80	1,20	0,47	0,55	6,06	91,72		
		Omica	>54	103,98	105,05	98,98	1,02	0,66	0,56	6,36	91,39		

Tabela 2. cd
Table 2. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja uzytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	H ⁺	Na ⁺	K ⁺ (cmol(+)-kg ⁻¹)	Mg ²⁺	Ca ²⁺
15	Lublin, ul. Wyrwasa (nieuz. – wasteland)	ABbr	0-15	0,60	0,05	0,24	1,65	13,40
		B1brca	15-33	0,40	0,09	0,19	2,18	12,01
		B2brca	33-54	0,24	0,15	0,29	1,24	19,13
		B2brCca	54-100	0,20	0,24	0,15	1,70	9,48
		C	100-114	0,12	0,39	0,13	1,86	10,03
		Cca	>114	0,12	0,41	0,17	0,89	36,26
		Aanca	0-10	0,57	0,06	0,27	0,29	40,71
16	Lublin, ul. Łagiewnicka (nieuz. – wasteland)	IIC1anca	10-20	0,57	0,05	0,14	0,20	40,26
		IIC2anca	20-30	0,65	0,07	0,12	0,19	44,01
		IIC3anca	30-40	0,73	0,07	0,12	0,18	43,13
		IIC4anca	40-60	0,65	0,06	0,13	0,23	40,69
		IIC5anca	60-80	0,57	0,06	0,15	0,22	38,05
		IIC6anca	80-100	0,57	0,07	0,12	0,23	37,89
		IIC7anca	>100	0,57	0,07	0,12	0,23	37,89

Tabela 2. cd.

Table 2. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	S ($\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$)	T	V	V_{H^+}	V_{Na^+}	V_{K^+}	$V_{\text{Mg}^{2+}}$	$V_{\text{Ca}^{2+}}$	(%)	
15	Lublin, ul. Wyrwasa (nieuż. – wasteland)	Abbr	0-15	15,34	15,94	96,24	3,76	0,33	1,50	10,34	84,07		
		B1brca	15-33	14,47	14,87	97,34	2,66	0,64	1,29	14,64	80,78		
		B2brca	33-54	20,81	21,05	98,84	1,16	0,70	1,39	5,87	90,88		
		B2brCca	54-100	11,57	11,77	98,28	1,72	2,04	1,25	14,46	80,53		
		C	100-114	12,42	12,54	99,04	0,96	3,15	1,06	14,82	80,00		
		Cca	>114	37,74	37,87	99,68	0,32	1,09	0,46	2,36	95,77		
16	Lublin, ul. Łagiewnicka (nieuż. – wasteland)	Aanca	0-10	41,33	41,90	98,64	1,36	0,15	0,64	0,70	97,15		
		IIC1anca	10-20	40,65	41,22	98,62	1,38	0,13	0,33	0,49	97,67		
		IIC2anca	20-30	44,39	45,04	98,55	1,45	0,15	0,26	0,43	97,71		
		IIC3anca	30-40	43,50	44,23	98,35	1,65	0,16	0,27	0,41	97,51		
		IIC4anca	40-60	41,11	41,76	98,45	1,55	0,15	0,31	0,56	97,43		
		IIC5anca	60-80	38,48	39,05	98,55	1,45	0,15	0,38	0,57	97,44		
		IIC6anca	80-100	38,31	38,88	98,54	1,46	0,18	0,32	0,58	97,45		
		IIC7anca	>100	38,31	38,88	98,54	1,46	0,18	0,32	0,58	97,45		

Tabela 3. Zawartość całkowita Fe, Al, Mn, zawartość formy ditionitowej Fe, Al i Mn oraz zawartość formy krystalicznej Fe ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) w glebach Lublina
Table 3. Total Fe, Mn and Fe content, ditionite form of Fe, Al and Mn content and crustallic forms of Fe ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) in soils of Lublin city

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom. genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	% Fe-d w Fe-t			
				Fe-t	Al-t	Mn-t	Fe-d
1	Czesławice, okolice Nałęczowa (las – forest)	O	1-0	3,86	1,11	4,06	1,86
		A	0-7	8,35	2,64	0,13	4,48
		Aeet	7-16	7,41	2,21	0,28	3,86
		Bt	16-50	15,76	5,46	0,35	7,51
		BtC	50-70	13,40	3,23	0,29	5,37
		C	70-129	10,09	2,19	0,33	4,09
		Cca	<129	9,11	2,34	0,30	2,66
2	Czesławice, okolice Nałęczowa (pole – field)	ApBt	0-15	7,17	2,16	0,54	4,12
		Blt	15-40	10,34	4,96	0,63	8,48
		B2t	40-65	9,98	6,08	0,26	7,52
		B2tC	65-90	8,53	4,22	0,23	5,50
		C	90-150	7,87	2,73	0,26	4,78
		Cca	<150	7,34	1,92	0,23	2,62
		% Fe-d w Fe-t					
3	Lublin, Rezerwat "Stary Gaj" (las – forest)	O	3-0	5,28	1,81	5,35	2,58
		A	0-23	7,88	1,90	0,48	2,71
		Eet	23-48	5,38	1,85	0,56	2,36
		EetBt	48-62	5,48	2,25	0,58	3,54
		Bt	62-93	15,44	5,40	0,34	7,13
		BtC	93-160	13,59	4,17	0,34	5,83
		C	>160	10,97	3,36	0,33	3,85
% Fe-d w Fe-t						35,06	

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Al-d (g·kg ⁻¹)	% A-d w Al-t	Mn-d (g·kg ⁻¹)	% Mn-d w Mn-t	Fe-kr (g·kg ⁻¹)	% Fe-kr w Fe-t
1	Czesławice, okolice Należzowa (las – forest)	O	1-0	0,86	77,31	3,88	95,53	1,09	28,31
		A	0-7	2,16	81,76	0,03	24,79	2,58	30,85
		AEet	7-16	1,40	63,06	0,16	56,78	1,99	26,92
		Bt	16-50	1,90	34,86	0,19	54,12	5,27	33,46
		BtC	50-70	1,31	40,60	0,14	50,40	3,99	29,81
		C	70-129	0,84	38,50	0,19	57,96	3,14	31,15
2	Czesławice, okolice Należzowa (pole – field)	Cca	<129	0,58	24,95	0,13	43,67	1,88	20,66
		ApBt	0-15	1,12	51,84	0,41	76,17	2,01	28,02
		B1t	15-40	1,86	37,41	0,48	75,47	4,53	43,81
		B2t	40-65	1,93	31,69	0,23	88,00	3,16	31,64
		B2tC	65-90	1,43	33,76	0,20	85,06	2,17	25,40
		C	90-150	0,93	33,98	0,24	94,71	2,11	26,79
		Cca	<150	0,59	30,83	0,15	64,31	0,94	12,83
		O	3-0	0,85	46,91	2,87	53,72	1,20	22,79
		A	0-23	1,10	57,79	0,42	89,33	1,03	13,08
		Eet	23-48	1,09	58,68	0,40	70,40	0,95	17,57
3	Lublin, Rezerwat "Stary Gaj" (las – forest)	EetBt	48-62	0,96	42,50	0,23	39,67	1,97	36,06
		Bt	62-93	1,56	28,95	0,18	51,52	4,89	31,66
		BtC	93-160	1,15	27,63	0,17	49,73	4,48	32,98
		C	>160	0,89	26,58	0,16	48,57	3,03	27,62

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	% Fe-d w Fe-t				
				Fe-t	Al-t (g·kg ⁻¹)	Mn-t	Fe-d	
4	Lublin, "Stary Gaj" (pole – field)	Ap	0-33	10,35	3,25	0,48	4,77	46,11
		Bt	33-66	18,40	5,41	0,35	7,27	39,51
		BtC	66-82	9,93	3,10	0,25	3,90	39,27
		C	82-146	10,51	3,18	0,33	3,55	33,79
		Cca	<146	9,54	3,02	0,26	2,92	30,62
5	Lublin, ul. Działkowa (ogr. dział. – allotment)	Aanca	0-46	8,24	2,73	0,33	3,63	44,12
		IIC1anca	46-72	6,34	1,86	0,30	2,47	38,92
		IIIC2anca	72-107	6,79	1,85	0,20	2,61	38,45
		IIIC3anca	107-117	7,10	2,84	0,16	2,95	41,51
6	Lublin, elektro-ciepl. "Mega-Tem" (nieuż. – wasteland)	Aanca	0-28	25,24	2,46	0,49	15,35	60,84
		C1anca	28-82	12,96	2,37	0,20	6,51	50,19
		C2anca	82-100	11,12	2,39	0,17	5,00	44,96
7	Lublin, ul. Wolska (LZPS) (skwer – square)	Aanca	0-4	25,33	1,90	0,31	19,33	76,31
		IIC1anca	4-12	7,84	1,39	0,21	3,90	49,80
		IIIC2anca	12-18	29,12	1,83	0,56	16,63	57,10
		IIIC3anca	18-38	8,73	1,63	0,23	4,31	49,40
		IIIC4anca	>38	10,73	1,43	0,17	3,48	32,46

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Al-d (g·kg ⁻¹)	% A-d w Al-t	Mn-d (g·kg ⁻¹)	% Mn-d w Mn-t	Fe-kr (g·kg ⁻¹)	% Fe-kr w Fe-t
4	Lublin, "Stary Gaj" (pole – field)	Ap	0-33	1,36	41,93	0,32	67,08	2,97	28,69
		Bt	33-66	1,69	31,26	0,19	53,50	4,95	26,90
		BtC	66-82	1,08	34,70	0,13	54,35	2,71	27,23
		C	82-146	0,88	27,79	0,19	57,16	2,43	23,10
		Cca	<146	0,59	19,39	0,12	46,44	2,13	22,34
5	Lublin, ul. Działkowa (ogr. dział. – allotment)	Aanca	0-46	0,60	21,98	0,25	74,35	1,88	22,82
		IIC1anca	46-72	0,45	24,36	0,21	68,31	1,42	22,38
		IIC2anca	72-107	0,59	31,73	0,10	50,53	1,51	22,18
		IIC3anca	107-117	0,36	12,59	0,09	57,62	2,16	30,35
6	Lublin, elektro-ciepl. "Mega-Tem" (nieuż. – wasteland)	Aanca	0-28	0,85	34,30	0,21	42,72	5,29	20,97
		C1anca	28-82	0,48	20,48	0,09	44,02	4,10	31,65
		C2anca	82-100	0,49	20,32	0,07	42,36	3,65	32,80
7	Lublin, ul. Wolska (LZPS) (skwer – square)	Aanca	0-4	0,75	39,35	0,29	92,40	11,19	44,20
		IIC1anca	4-12	0,49	35,10	0,20	91,62	2,36	30,06
		IIC2anca	12-18	0,68	37,18	0,23	40,08	7,26	24,92
		IIC3anca	18-38	0,54	33,21	0,12	55,06	2,38	27,23
		IIC4anca	>38	0,43	30,11	0,09	53,68	1,49	13,93

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	% Fe-d w Fe-t (g·kg ⁻¹)				
				Fe-t	Al-t	Mn-t	Fe-d	
8	Lublin, Hajdów (nieuż. – wasteland)	A1	0-5	4,27	3,47	0,24	1,94	45,31
		A2	5-30	4,22	3,80	0,24	1,82	43,20
		C1	30-50	2,89	2,20	0,18	1,18	40,89
		C2	50-70	2,15	1,52	0,16	1,01	46,88
		C3	70-85	3,37	2,29	0,22	1,36	40,31
		C4	85-93	1,74	1,07	0,16	0,69	39,54
		C5	93-106	1,01	0,82	0,14	0,44	43,22
		C6	106-120	1,56	1,01	0,14	0,81	51,51
		C7	120-160	0,72	0,46	0,12	0,31	42,61
9	Lublin, Ządęcie (odlog. pole – fallow)	C8	160-180	1,52	0,46	0,13	0,64	41,84
		C9	180-190	1,94	1,38	0,11	0,72	37,13
		Aapca	0-20	6,31	5,46	0,15	3,05	48,42
		A1ca	20-28	5,69	5,43	0,06	1,30	22,92
		A2ca	28-51	5,50	6,37	0,03	0,77	13,95
		C1cagg	51-80	5,07	5,71	0,03	0,55	10,80
		C2cagg	>80	5,93	14,48	0,06	0,81	13,65
		Ap	0-24	8,12	12,57	0,15	4,91	60,43
		BbrC	24-48	11,41	7,83	0,18	8,64	75,70
10	Lublin, ul. Bryńskiego (odlog. pole – fallow)	Cca	>48	7,78	12,58	0,11	5,15	66,21

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Al-d (g·kg ⁻¹)	% A-d w Al-t	Mn-d (g·kg ⁻¹)	% Mn-d w Mn-t	Fe-kr (g·kg ⁻¹)	% Fe-kr w Fe-t
8	Lublin, Hajdów (nieuż. – wasteland)	A1	0-5	0,20	5,73	0,15	62,73	1,12	26,28
		A2	5-30	0,20	5,24	0,14	60,86	1,01	23,95
		C1	30-50	0,12	5,49	0,10	52,17	0,65	22,51
		C2	50-70	0,11	7,40	0,07	42,62	0,45	20,86
		C3	70-85	0,11	4,80	0,12	55,24	0,58	17,25
		C4	85-93	0,07	6,68	0,06	40,14	0,30	17,49
		C5	93-106	0,08	9,41	0,04	26,70	0,20	19,80
		C6	106-120	0,12	11,55	0,05	35,56	0,31	20,13
		C7	120-160	0,06	12,69	0,03	23,11	0,16	22,89
9	Lublin, Zadębie (odlog. pole – fallow)	C8	160-180	0,06	13,84	0,03	25,66	0,28	18,34
		C9	180-190	0,09	6,49	0,02	15,59	0,40	20,44
		Aapca	0-20	0,60	11,02	0,10	70,37	0,85	13,48
		A1ca	20-28	0,78	14,34	0,04	67,80	0,18	3,22
		A2ca	28-51	0,92	9,76	0,01	52,95	0,43	7,75
		C1cagg	51-80	0,34	6,02	0,02	48,47	0,31	6,16
		C2cagg	>80	0,55	3,81	0,02	37,24	0,58	9,72
		Ap	0-24	1,02	8,12	0,12	83,04	3,80	46,77
		BbrC	24-48	1,67	21,32	0,13	74,67	7,08	62,00
10	Lublin, ul. Bryńskiego (odlog. pole – fallow)	Cca	>48	0,89	7,04	0,08	69,14	4,66	59,87

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-t (g·kg ⁻¹)				% Fe-d w Fe-t
				Fe-t	Al-t	Mn-t	Fe-d	
11	Lublin, ul. Osmolicka, (las – forest)	O	3-0	2,49	2,10	0,99	1,20	48,11
		A	0-19	2,70	2,64	0,20	1,05	39,00
		BbrBv	19-39	2,92	3,37	0,04	0,99	33,86
		C1	39-65	2,37	2,34	0,02	0,83	35,16
		C2	65-150	2,07	2,16	0,02	0,73	35,43
12	Lublin, ul. Łęczynska (skwer – square)	A1anca	0-5	6,82	6,79	0,22	3,49	51,11
		IIA2an	5-20	6,68	6,01	0,21	3,05	45,66
		IIC1anca	20-30	6,23	6,13	0,20	2,58	41,41
		IIIC2anca	30-50	5,90	5,54	0,23	2,69	45,67
13	Lublin, Permedia (nieuż. – wasteland)	A1p	0-20	5,60	5,88	0,35	1,76	31,49
		A2p	20-30	5,58	6,14	0,38	1,78	31,93
		IIAEet	30-36	5,97	6,96	0,28	1,77	29,69
		IIIBt	36-66	8,84	14,86	0,12	2,77	31,27
		IIIBt/C	66-71	10,16	3,22	0,17	3,23	31,85
		IIICca	> 71	6,84	9,20	0,08	1,94	28,32
14	Lublin, ul. Wapienna (ogr. dział. – allotment)	A1anca	0-10	4,92	4,94	0,27	2,86	58,05
		A2anca	10-22	5,50	5,86	0,27	2,94	53,50
		A3anca	22-54	5,57	4,68	0,25	3,35	60,12
		Otnica	>54	4,58	4,86	0,19	2,46	53,67

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Al-d (g·kg ⁻¹)	% A-d w Al-t	Mn-d (g·kg ⁻¹)	% Mn-d w Mn-t	Fe-kr (g·kg ⁻¹)	% Fe-kr w Fe-t
11	Lublin, ul. Osmolicka, (las – forest)	O	3-0	1,00	47,55	0,64	64,88	0,37	14,74
		A	0-19	1,90	72,23	0,16	79,51	0,06	2,14
		BbrBv	19-39	1,92	56,80	0,03	62,48	0,09	3,16
		C1	39-65	1,42	60,72	0,01	59,01	0,28	11,61
		C2	65-150	1,48	68,18	0,01	50,00	0,31	15,01
12	Lublin, ul. Łęczynska (skwer – square)	A1anca	0-5	0,42	6,25	0,22	98,43	1,77	26,01
		IIA2an	5-20	0,33	5,48	0,18	86,92	1,31	19,56
		IIIC1anca	20-30	0,36	5,81	0,18	90,96	1,42	22,84
		IIIC2anca	30-50	0,27	4,90	0,23	101,55	1,35	22,97
		A1p	0-20	0,60	10,21	0,26	73,62	0,61	10,97
13	Lublin, Permedia (nieuz. – wasteland)	A2p	20-30	0,72	11,64	0,27	70,80	0,52	9,26
		IIAEet	30-36	0,71	10,19	0,21	74,13	0,74	12,38
		IIIBt	36-66	1,94	13,04	0,08	65,61	1,45	16,43
		IIIBt/C	66-71	1,73	53,72	0,11	63,62	2,16	21,26
		IIICca	>71	0,57	6,24	0,04	48,07	1,43	20,87
14	Lublin, ul. Wapienna (ogr. dział. – allotment)	A1anca	0-10	0,55	11,04	0,21	78,65	1,15	23,44
		A2anca	10-22	0,46	7,94	0,24	86,01	1,46	26,44
		A3anca	22-54	0,44	9,43	0,21	86,17	1,06	18,98
		Omicca	>54	0,40	8,14	0,10	54,07	1,11	24,21

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	% Fe-d w Fe-t				
				Fe-t	Al-t (g·kg ⁻¹)	Mn-t	Fe-d	
15	Lublin, ul. Wyrwasa (nieuż. – wasteland)	ABbr	0-15	7,92	10,99	0,42	4,17	52,69
		B1brca	15-33	8,85	14,24	0,34	5,46	61,66
		B2brca	33-54	9,01	15,30	0,31	5,48	60,87
		B2brCca	54-100	7,99	11,78	0,30	4,01	50,13
		C	100-114	7,64	9,71	0,27	3,42	44,77
		Cca	>114	6,91	8,51	0,22	2,03	29,46
		Aanca	0-10	5,60	6,96	0,10	1,91	34,03
16	Lublin, ul. Łagiewnicka (nieuż. – wasteland)	IIC1anca	10-20	6,47	8,00	0,13	1,82	28,08
		IIC2anca	20-30	5,18	5,18	0,10	2,05	39,49
		IIC3anca	30-40	5,14	4,70	0,10	1,88	36,59
		IIC4anca	40-60	5,09	5,22	0,08	1,78	35,00
		IIC5anca	60-80	4,64	5,34	0,07	1,67	36,10
		IIC6anca	80-100	4,91	4,42	0,08	1,90	38,82
		IIC7anca	>100	4,23	3,73	0,06	1,80	42,50

Tabela 3. cd.
Table 3. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Al-d (g·kg ⁻¹)	% A-d w Al-t	Mn-d (g·kg ⁻¹)	% Mn-d w Mn-t	Fe-kr (g·kg ⁻¹)	% Fe-kr w Fe-t
15	Lublin, ul. Wyrwasa (nieuż. – wasteland)	ABbr	0-15	0,44	4,02	0,41	96,64	2,24	28,26
		B1brca	15-33	0,74	5,19	0,33	96,49	3,17	35,78
		B2brca	33-54	0,76	4,99	0,26	86,68	3,49	38,76
		B2brCca	54-100	0,57	4,85	0,28	93,21	2,61	32,62
		C	100-114	0,43	4,38	0,25	90,94	1,91	24,97
		Cca	>114	0,29	3,41	0,15	68,12	1,21	17,47
16	Lublin, ul. Łągiewnicka (nieuż. – wasteland)	Aanca	0-10	0,18	2,59	0,08	76,82	0,42	7,57
		IIC1anca	10-20	0,21	2,66	0,08	60,49	0,26	4,02
		IIC2anca	20-30	0,18	3,44	0,09	81,69	0,23	4,53
		IIC3anca	30-40	0,18	3,83	0,08	79,01	0,04	0,78
		IIC4anca	40-60	0,09	1,65	0,07	78,87	0,28	5,51
		IIC5anca	60-80	0,14	2,54	0,04	64,78	0,32	6,93
		IIC6anca	80-100	0,11	2,60	0,06	71,91	0,14	2,92
		IIC7anca	>100	0,10	2,67	0,05	74,15	0,29	6,88

Tabela 4. Zawartość formy szczawianowej i pirofosforanowej Fe, Al i Mn ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 4. Oxalate and pyrophosphate forms of Fe, Al and Mn content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-o ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	% Fe-o w Fe-t	Al-o ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	% Al-o w Al-t	Mn-o ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	% Mn-o w Mn-t
1	Czesławice, okolice Nałęczowa (las – forest)	O	1-0	0,77	19,91	0,50	45,13	3,50	86,13
		A	0-7	1,90	22,81	1,01	38,42	0,03	21,58
		AeE	7-16	1,86	25,17	0,78	35,07	0,21	74,92
		Bt	16-50	2,23	14,18	1,25	22,86	0,22	61,85
		BtC	50-70	1,38	10,29	0,70	21,74	0,17	58,82
		C	70-129	0,95	9,37	0,36	16,23	0,23	71,11
		Cca	<129	0,78	8,53	0,27	11,44	0,12	39,29
2	Czesławice, okolice Nałęczowa (pole – field)	ApBt	0-15	2,11	29,36	1,12	51,97	0,32	58,73
		B1t	15-40	3,95	38,22	1,94	39,06	0,33	51,40
		B2t	40-65	4,37	43,72	2,27	37,43	0,18	68,66
		B2tC	65-90	3,33	39,11	1,65	39,17	0,19	81,59
		C	90-150	2,67	33,90	0,92	33,71	0,20	78,77
		Cca	<150	1,68	22,87	0,70	36,71	0,10	42,02
		O	3-0	1,38	26,06	0,60	32,86	2,73	51,07
3	Lublin, Rezerwat "Stary Gaj" (las – forest)	A	0-23	1,68	21,25	0,69	36,30	0,22	45,78
		Eet	23-48	1,42	26,32	0,71	38,31	0,48	86,00
		EetBt	48-62	1,56	28,51	0,62	27,51	0,25	43,50
		Bt	62-93	2,24	14,50	0,96	17,85	0,19	54,99
		BtC	93-160	1,35	9,96	0,67	15,96	0,23	66,03
		C	>160	0,82	7,44	0,50	14,88	0,19	56,46

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-p (g kg ⁻¹)	% Fe-p w Fe-t	Al-p (g kg ⁻¹)	% Al-p w Al-t	Mn-p (g kg ⁻¹)	% Mn-p w Mn-t
1	Czesławice, okolice Należczowa (las – forest)	O	1-0	0,15	3,85	0,31	27,76	1,03	25,46
		A	0-7	0,67	8,03	1,35	51,21	0,01	6,03
		A _E t	7-16	0,41	5,54	0,84	37,91	0,04	12,86
		B _t	16-50	0,22	1,41	0,79	14,40	0,02	5,14
		B _t C	50-70	0,16	1,16	0,45	14,00	0,01	4,20
		C	70-129	0,10	0,99	0,23	10,42	0,01	4,06
		C _{ca}	<129	0,04	0,45	0,07	2,90	0,01	2,96
2	Czesławice, okolice Należczowa (pole – field)	A _p B _t	0-15	1,16	16,24	0,85	39,51	0,31	57,57
		B ₁ t	15-40	1,12	10,78	1,03	20,85	0,11	16,67
		B ₂ t	40-65	0,45	4,55	0,92	15,21	0,08	31,74
		B ₂ tC	65-90	0,53	6,20	0,73	17,24	0,07	30,18
		C	90-150	0,17	2,21	0,31	11,24	0,07	25,97
		C _{ca}	<150	0,19	2,60	0,06	3,01	0,08	35,52
		O	3-0	0,28	5,25	0,74	40,52	0,68	12,76
3	Lublin, Rezerwat "Stary Gaj" (las – forest)	A	0-23	0,32	4,10	1,03	54,19	0,08	15,84
		E _{et}	23-48	0,31	5,69	0,99	53,70	0,06	11,24
		E _{et} B _t	48-62	0,30	5,39	0,93	41,22	0,02	4,01
		B _t	62-93	0,26	1,67	0,97	17,94	0,01	1,60
		B _t C	93-160	0,21	1,53	0,77	18,38	0,00	0,96
		C	>160	0,16	1,44	0,64	19,07	0,00	1,38

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-o (g·kg ⁻¹)	% Fe-o w Fe-t	Al-o (g·kg ⁻¹)	% Al-o w Al-t	Mn-o (g·kg ⁻¹)	% Mn-o w Mn-t
4	Lublin "Stary Gaj" (pole – field)	Ap	0-33	1,80	17,42	0,70	21,53	0,38	78,33
		Bt	33-66	2,32	12,61	1,20	22,20	0,19	53,25
		BitC	66-82	1,20	12,04	0,53	17,20	0,15	61,38
		C	82-146	1,12	10,68	0,45	14,27	0,23	69,19
		Cca	<146	0,79	8,27	0,37	12,33	0,13	48,41
5	Lublin, ul. Działkowa (ogr. dział. – allotment)	Aanca	0-46	1,75	21,30	0,40	14,66	0,16	47,10
		IIC1anca	46-72	1,05	16,53	0,31	16,65	0,23	75,30
		IIC2anca	72-107	1,10	16,26	0,27	14,75	0,09	44,35
6	Lublin, elektro-ciepl. "Mega-Tem" (nieuż. – wasteland)	IIC3anca	107-117	0,79	11,16	0,33	11,48	0,07	44,24
		Aanca	0-28	10,06	39,86	1,21	48,93	0,19	38,53
		C1anca	28-82	2,40	18,54	0,65	27,62	0,07	33,90
		C2anca	82-100	1,35	12,16	0,50	20,95	0,05	27,95
7	Lublin, ul. Wolska, (LZPS) (skwer – square)	Aanca	0-4	8,13	32,11	0,45	23,91	0,17	54,39
		IIC1anca	4-12	1,55	19,74	0,20	14,18	0,11	53,32
		IIC2anca	12-18	9,37	32,18	0,69	37,78	0,30	53,53
		IIC3anca	18-38	1,93	22,18	0,44	26,69	0,11	50,72
		IIC4anca	>38	1,99	18,53	0,34	23,71	0,09	51,97

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość Depth (cm)	Fe-p (g·kg ⁻¹)	% Fe-p w Fe-t	Al-p (g·kg ⁻¹)	% Al-p w Al-t	Mn-p (g·kg ⁻¹)	% Mn-p w Mn-t
4	Lublin "Stary Gaj" (pole – field)	Ap	0-33	0,33	3,19	0,78	24,04	0,07	13,88
		Bt	33-66	0,35	1,89	0,96	17,66	0,01	2,92
		BtC	66-82	0,10	1,01	0,44	14,12	0,01	2,49
		C	82-146	0,10	0,92	0,33	10,38	0,01	2,28
		Cca	<146	0,03	0,31	0,13	4,39	0,01	2,11
5	Lublin, ul. Działkowa (ogr. dział. – allotment)	Aanca	0-46	0,19	2,29	0,23	8,42	0,02	5,17
		IIC1anca	46-72	0,11	1,68	0,19	10,29	0,01	3,86
		IIC2anca	72-107	0,06	0,89	0,19	10,21	0,01	5,09
6	Lublin, elektro-ciepl. "Mega-Term" (nieuz. – wasteland)	IIC3anca	107-117	0,05	0,76	0,16	5,50	0,01	3,20
		Aanca	0-28	0,10	0,40	0,16	6,30	0,01	1,30
		C1anca	28-82	0,04	0,29	0,02	0,85	0,00	1,36
7	Lublin, ul. Wolska, (LZPS) (skwer – square)	C2anca	82-100	0,04	0,38	0,05	2,30	0,00	1,55
		Aanca	0-4	0,22	0,87	0,04	2,27	0,03	9,02
		IIC1anca	4-12	0,07	0,91	0,003	0,19	0,01	5,98
		IIC2anca	12-18	0,40	1,38	0,21	11,41	0,03	5,72
		IIC3anca	18-38	0,11	1,23	0,03	1,68	0,02	7,57
		IIC4anca	>38	0,24	2,21	0,02	1,54	0,02	9,77

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-o (g·kg ⁻¹)	% Fe-o w Fe-t	Al-o (g·kg ⁻¹)	% Al-o w Al-t	Mn-o (g·kg ⁻¹)	% Mn-o w Mn-t
8	Lublin, Hajdów (mieuz. – wasteland)	A1	0-5	0,81	19,04	0,28	8,07	0,13	55,42
		A2	5-30	0,81	19,25	0,32	8,49	0,13	56,06
		C1	30-50	0,53	18,39	0,14	6,35	0,10	53,00
		C2	50-70	0,56	26,02	0,12	8,06	0,06	39,23
		C3	70-85	0,78	23,06	0,08	3,39	0,12	52,79
		C4	85-93	0,38	22,05	0,04	3,69	0,07	43,61
		C5	93-106	0,24	23,41	0,15	18,12	0,04	30,50
		C6	106-120	0,49	31,39	0,15	14,86	0,05	36,86
		C7	120-160	0,14	19,72	0,06	13,84	0,03	27,04
9	Lublin, Zadębie (odłog. pole – fallow)	C8	160-180	0,36	23,50	0,08	17,53	0,04	30,48
		C9	180-190	0,32	16,69	0,16	11,32	0,02	15,03
		Aapca	0-20	2,20	34,94	0,32	5,93	0,10	68,41
		A1ca	20-28	1,12	19,70	0,38	7,04	0,03	53,89
		A2ca	28-51	0,34	6,20	0,38	6,01	0,01	33,48
		C1cagg C2cagg	51-80 >80	0,24 0,23	4,64 3,93	0,31 0,44	5,47 3,07	0,01 0,01	31,50 23,47
10	Lublin, ul. Bryńskiego (odłog. pole – fallow)	Ap	0-24	1,11	13,66	0,89	7,07	0,11	76,86
		BbrC	24-48	1,56	13,70	2,10	26,80	0,10	56,12
		Cca	>48	0,49	6,34	0,89	7,06	0,05	45,23

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-p (g·kg ⁻¹)	% Fe-p w Fe-t	Al-p (g·kg ⁻¹)	% Al-p w Al-t	Mn-p (g·kg ⁻¹)	% Mn-p w Mn-t
8	Lublin, Hajdów (nieuz. – wasteland)	A1	0-5	0,41	9,62	0,05	1,51	0,13	54,71
		A2	5-30	0,42	9,85	0,07	1,84	0,12	52,54
		C1	30-50	0,29	10,17	0,04	1,83	0,07	39,08
		C2	50-70	0,35	16,22	0,06	3,80	0,05	30,70
		C3	70-85	0,39	11,61	0,05	2,22	0,05	23,89
		C4	85-93	0,28	16,24	0,05	4,36	0,04	26,64
		C5	93-106	0,20	19,97	0,04	5,36	0,03	20,81
		C6	106-120	0,40	25,44	0,07	7,24	0,05	36,76
		C7	120-160	0,15	21,51	0,03	5,87	0,02	17,30
9	Lublin, Ządębie (odlog. pole – fallow)	C8	160-180	0,38	25,05	0,01	2,81	0,03	25,39
		C9	180-190	0,29	14,82	0,04	2,91	0,02	18,24
		Aapca	0-20	1,13	17,95	0,09	1,59	0,10	66,98
		A1ca	20-28	0,62	10,95	0,08	1,43	0,04	68,89
		A2ca	28-51	0,16	2,98	0,06	0,92	0,01	47,28
		C1cagg	51-80	0,13	2,53	0,03	0,47	0,01	27,75
		C2cagg	>80	0,13	2,19	0,02	0,12	0,01	23,21
		Ap	0-24	0,37	4,58	0,06	0,50	0,09	62,62
		10	Lublin, ul. Bryńskiego (odlog. pole – fallow)	BbrC	24-48	0,38	3,31	0,16	2,10
Cca	>48			0,11	1,41	0,04	0,28	0,01	10,91

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-o (g·kg ⁻¹)	% Fe-o w Fe-t	Al-o (g·kg ⁻¹)	% Al-o w Al-t	Mn-o (g·kg ⁻¹)	% Mn-o w Mn-t
11	Lublin, ul. Osmolińska, (las – forest)	O	3-0	0,83	33,37	0,50	23,82	1,67	169,40
		A	0-19	1,00	36,86	0,72	27,13	0,22	107,54
		BbrBv	19-39	0,90	30,70	0,85	25,28	0,02	52,97
		C1	39-65	0,56	23,55	0,60	25,69	0,01	23,21
		C2	65-150	0,42	20,42	0,60	27,92	0,01	22,73
12	Lublin, ul. Łęczyńska (skwer – square)	A1anca	0-5	1,71	25,09	0,59	8,69	0,16	72,05
		IIA2an	5-20	1,74	26,10	0,64	10,65	0,15	70,97
		IIIC1anca	20-30	1,16	18,57	0,70	11,37	0,13	64,18
		IIIC2anca	30-50	1,34	22,70	0,44	7,97	0,21	92,95
		A1p	0-20	1,15	20,52	0,44	7,52	0,35	98,65
13	Lublin, Permedia (nieuż. – wasteland)	A2p	20-30	1,27	22,67	0,64	10,49	0,37	98,58
		IIAEt	30-36	1,03	17,31	0,50	7,14	0,21	73,61
		IIIt	36-66	1,31	14,85	0,98	6,58	0,08	69,94
		IIIt/C	66-71	1,08	10,58	1,17	36,30	0,11	68,24
		IIcca	> 71	0,51	7,45	0,51	5,56	0,03	34,71
14	Lublin, ul. Wapienna (ogr. dział. – allotment)	A1anca	0-10	1,70	34,61	0,71	14,42	0,14	51,46
		A1anca	10-22	1,49	27,06	0,59	10,13	0,13	48,18
		A3anca	22-54	2,29	41,14	0,70	14,93	0,14	55,14
		Otmica	>54	1,35	29,46	0,33	6,74	0,07	35,30

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-p (g·kg ⁻¹)	% Fe-p w Fe-t	Al-p (g·kg ⁻¹)	% Al-p w Al-t	Mn-p (g·kg ⁻¹)	% Mn-p w Mn-t
11	Lublin, ul. Osmolińska, (las – forest)	O	3-0	0,57	23,05	0,22	10,65	0,83	84,23
		A	0-19	0,76	28,10	0,38	14,48	0,16	77,55
		BbrBv	19-39	0,49	16,92	0,39	11,58	0,01	33,22
		C1	39-65	0,51	21,59	0,40	17,30	0,01	46,58
		C2	65-150	0,42	20,42	0,39	17,89	0,01	45,45
12	Lublin, ul. Łęczyńska (skwer – square)	A1anca	0-5	0,33	4,77	0,09	1,27	0,12	54,49
		IIA2an	5-20	0,31	4,66	0,07	1,21	0,10	47,57
		IIIC1anca	20-30	0,16	2,57	0,05	0,76	0,05	25,52
		IIIC2anca	30-50	0,58	9,83	0,04	0,68	0,07	31,56
		A1p	0-20	0,29	5,09	0,04	0,60	0,11	31,90
13	Lublin, Permedia (nieuż. – wasteland)	A2p	20-30	0,32	5,65	0,09	1,46	0,11	28,51
		IIAEet	30-36	0,29	4,91	0,05	0,79	0,03	12,02
		IIIBt	36-66	0,22	2,51	0,10	0,67	0,01	11,82
		IIIBt/C	66-71	0,17	1,66	0,02	0,59	0,02	14,14
		IIICea	> 71	0,05	0,75	0,02	0,20	0,01	11,28
14	Lublin, ul. Wapienna (ogr. dział. – allotment)	A1anca	0-10	0,82	16,67	0,22	4,37	0,05	18,58
		A1anca	10-22	0,91	16,53	0,23	3,87	0,08	29,95
		A3anca	22-54	1,20	21,55	0,27	5,80	0,07	27,73
		Omicca	>54	1,32	28,74	0,32	6,69	0,03	15,52

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-o (g·kg ⁻¹)	% Fe-o w Fe-t	Al-o (g·kg ⁻¹)	% Al-o w Al-t	Mn-o (g·kg ⁻¹)	% Mn-o w Mn-t
15	Lublin, ul. Wyrwasa (nieuż. – wasteland)	Abbr	0-15	1,93	24,43	0,74	6,72	0,38	88,60
		B1brca	15-33	2,29	25,88	1,14	8,01	0,29	84,32
		B2brca	33-54	1,99	22,10	1,25	8,18	0,27	89,51
		B2brCca	54-100	1,40	17,50	1,11	9,47	0,26	87,74
		C	100-114	1,51	19,80	0,74	7,62	0,23	85,68
		Cca	>114	0,83	11,99	0,56	6,57	0,11	51,42
16	Lublin, ul. Łagiewnicka (nieuż. – wasteland)	Aanca	0-10	1,48	26,46	0,33	4,73	0,06	62,36
		IIC1anca	10-20	1,56	24,06	0,27	3,41	0,06	47,85
		IIC2anca	20-30	1,81	34,96	0,31	6,03	0,06	61,29
		IIC3anca	30-40	1,84	35,80	0,32	6,90	0,07	67,58
		IIC4anca	40-60	1,50	29,49	0,25	4,72	0,05	63,40
		IIC5anca	60-80	1,35	29,17	0,42	7,87	0,04	58,31
		IIC6anca	80-100	1,76	35,91	0,27	6,16	0,05	65,18
IIC7anca	>100	1,51	35,61	0,24	6,46	0,04	61,71		

Tabela 4. cd.
Table 4. Cont.

Nr prof. No. profile	Lokalizacja użytkow. Location and land-use form	Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość (cm) Depth (cm)	Fe-p (g·kg ⁻¹)	% Fe-p w Fe-t	Al-p (g·kg ⁻¹)	% Al-p w Al-t	Mn-p (g·kg ⁻¹)	% Mn-p w Mn-t
15	Lublin, ul. Wyrwasa (nieuż. – wasteland)	Abbr	0-15	0,74	9,40	0,14	1,29	0,14	34,01
		B1brca	15-33	0,85	9,59	0,17	1,17	0,04	10,15
		B2brca	33-54	0,52	5,78	0,16	1,04	0,02	6,94
		B2brCca	54-100	0,33	4,18	0,09	0,78	0,02	6,63
		C	100-114	0,22	2,86	0,08	0,82	0,01	4,32
		Cca	>114	0,11	1,64	0,04	0,45	0,04	17,70
16	Lublin, ul. Łągiewnicka (nieuż. – wasteland)	Aanca	0-10	0,41	7,32	0,07	1,00	0,04	36,65
		IIC1anca	10-20	0,56	8,65	0,04	0,52	0,05	36,71
		IIC2anca	20-30	0,63	12,21	0,04	0,70	0,06	57,45
		IIC3anca	30-40	0,62	12,08	0,05	1,10	0,05	48,57
		IIC4anca	40-60	0,46	9,01	0,02	0,40	0,04	42,42
		IIC5anca	60-80	0,44	9,44	0,03	0,49	0,04	56,20
		IIC6anca	80-100	0,52	10,50	0,005	0,11	0,04	48,17
IIC7anca	>100	0,50	11,88	0,002	0,06	0,03	51,37		

Tabela 5. Analiza wariancji względem użytkowania
Table 5. Variance analysis in relation to land-use form

Formy arsenu Arsenic forms	$p \cdot 10^{-3}$
As ⁺³	13,5*
As ⁺⁵	559,9
As- <i>roz</i>	0,001*
As- <i>wym</i>	27,2
As- <i>am</i>	272,1
As- <i>kr</i>	301,3
As- <i>t</i>	338,3

*Efekty istotne statystycznie dla $p < 0,05$
 Effects statistically significant at $p < 0.05$.

Tabela 6. Test NIR
Table 6. NIR test

As ⁺³	Las Forest	Pole Field	Ogródki działkowe Allotments	Skwer miejski Square
Las – forest		0,840	0,160	$9,9 \cdot 10^{-3}$
Pole – field	0,840		0,121	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Ogródki działkowe – allotments	0,160	0,121		0,777
Skwer miejski – square	$9,9 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	0,777	
As-<i>roz</i>				
Las – forest		0,275	$1,78 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-6}$
Pole – field	0,275		$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$
Ogródki działkowe – allotments	$1,78 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$		0,4721
Skwer miejski – square	$4 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	0,472	
As-<i>wym</i>				
Las – forest		$8,0 \cdot 10^{-3}$	0,024*	0,065
Pole – field	$8,0 \cdot 10^{-3}$		0,531	0,437
Ogródki działkowe – allotments	0,024	0,531		0,274
Skwer miejski – square	0,066	0,437	0,274	

*Różnice istotne statystycznie dla $p < 0,05$.
 Differences statistically significant ($p < 0.05$).

Tabela 7. Analiza wariancji względem gleb antropogenicznych i nie wytworzonych przez człowieka
Table 7. Variance analysis in relation to anthropogenic soils and soils non-created by human

Formy arsenu Arsenic forms	$p \cdot 10^{-3}$
As^{+3}	0,004
As^{+5}	1,20
<i>As-roz</i>	0,42
<i>As-wym</i>	0,03
<i>As-am</i>	0,001
<i>As-kr</i>	6,27
<i>As-rez</i>	5,10
<i>As-t</i>	21,63

*Wszystkie efekty są istotne statystycznie dla $p < 0,05$.
 All effects are statistically significant at $p < 0.05$.

Tabela 8. Test najmniejszej rozsądnej różnicy HSD Tuckey`a
Table 8. The least reasonable difference test (Tuckey`s HSD)

Formy arsenu Arsenic forms	$p \cdot 10^{-3}$
As^{+3}	0,22
As^{+5}	6,6*
<i>As-roz</i>	3,0*
<i>As-wym</i>	0,5*
<i>As-am</i>	1,6*
<i>As-kr</i>	22,9*
<i>As-rez</i>	19,6*
<i>As-t</i>	50,6*

*Różnice istotne statystycznie dla $p < 0,05$
 Differences statistically significant at $p < 0.05$.

Adres autora

Andrzej Plak
Zakład Gleboznawstwa, Instytut Nauk o Ziemi
UMCS
ul. Akademicka 19
20-033 Lublin
e-mail: alpak@biotop.umcs.lublin.pl