

**Zastosowanie magnetometrii do monitoringu
i oceny ekologicznej gleb na obszarach
objętych wpływem emisji przemysłowych**

**INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES**

**WORKS & STUDIES
PRACE I STUDIA**

No. 78

**Editor-in-Chief
Czesława Rosik-Dulewska**

INSTYTUT PODSTAW INŻYNIERII ŚRODOWISKA
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Zygmunt Strzyszczyński, Marzena Rachwał

**Zastosowanie magnetometrii do monitoringu
i oceny ekologicznej gleb na obszarach
objętych wpływem emisji przemysłowych**

ZABRZE 2010

Pracę opiniowali do druku:
Jerzy Drozd, Tomasz T. Suchecki

Redakcja WORKS & STUDIES – PRACE I STUDIA
i Archives of Environmental Protection
Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska
Polskiej Akademii Nauk
ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze, Poland
Tel.: +48-32-271 64 81 Fax: +48-32-271 74 70
e-mail: ipis@ipis.zabrze.pl

*© Copyright by Institute of Environmental Engineering of the Polish Academy of Sciences,
Zabrze, Poland 2010*

PL ISSN 0208-4112
ISBN 978-83-60877-60-9

Skład, druk i oprawa: Przedsiębiorstwo Miernictwa Górniczego Spółka z o.o. – Oddział Poligrafii
40-065 Katowice, ul. Mikołowska 100A, tel. +48-32-757 43 94

W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu badawczego nr 2 P04G 125 26 pt. Zastosowanie magnetometrii glebowej do oceny ekologicznej terenów parkowo-leśnych centralnej części GOP w celu szybkiego wykrywania miejsc potencjalnych zagrożeń sfinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz umowy zawartej z Wojewódzkim Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach nr 641/04/Wn50/NE-OZ-Tx/D (C2-406/205/NT) zleconej przez Ministerstwo Środowiska pt. Pilotowy monitoring gleb na obszarach potencjalnych zagrożeń ekologicznych przy zastosowaniu magnetometrii jako metody wspomagającej.

Spis treści

Spis rysunków	7
Spis tabel	9
1. Wstęp	11
2. Cel i zakres badań	13
3. Podstawy metodyczne i historyczne magnetometrii pyłów przemysłowych i gleb	17
4. Opis zastosowanych metod badawczych	21
5. Omówienie wyników badań	25
5.1. Obszary jednohektarowe gleb w nadleśnictwach:	25
5.1.1. Rybnik	25
5.1.2. Rudziniec	25
5.1.3. Brynek	29
5.1.4. Siewierz	29
5.1.5. Chrzanów	30
5.2. Park im. Powstańców Śląskich w Zabrze	32
5.3. Park im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu	38
5.4. Lasy Panewnicko-Kochłowskie	44
5.5. Wojewódzki Park Kultury i Wypoczynku	48
5.6. Transekt Rudy Raciborskiej – Olkusz	52
6. Zawartość niektórych metali ciężkich w grzybach i owocach malin	53
7. Opracowanie wytycznych bezpiecznego wykorzystania terenów zanieczyszczonych do celów rekreacyjnych oraz planów dalszego ich zagospodarowania ...	59
8. Opracowanie zasad stałego monitoringu badanych obszarów opartego na magnetometrii jako metodzie wstępnego rozpoznania terenu	61
9. Wnioski	67
10. Literatura	69
Streszczenie	75
Summary	77
Załączniki	79

Spis rysunków

Rysunek 1.	Lokalizacja obiektów badań (1 – Park Powstańców Śląskich w Zabrze, 2 – Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu, 3 – Lasy Panewnicko-Kochłowskie, 4 – Wojewódzki Park Kultury i Wypoczynku, Nadleśnictwa: NRb – Rybnik, NR – Rudziniec, NB – Brynek, NS – Siewierz, NCh – Chrzanów, niebieska linia – transekt Rudy Raciborskie – Olkusz.	15
Rysunek 2.	Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na 1-hektarowej powierzchni Nadleśnictwa Rybnik.	26
Rysunek 3.	Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na 1-hektarowej powierzchni Nadleśnictwa Rudziniec.	28
Rysunek 4.	Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na 1-hektarowej powierzchni Nadleśnictwa Siewierz.	30
Rysunek 5.	Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na 1-hektarowej powierzchni Nadleśnictwa Chrzanów.	31
Rysunek 6.	Opad pyłu i niektórych metali ciężkich na terenie Parku im. Powstańców Śl. w Zabrzu [63].	33
Rysunek 7.	Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na terenie Parku Powstańców Śląskich w Zabrzu.	34
Rysunek 8.	Opad pyłu i niektórych metali ciężkich na terenie Parku im. Edwarda Osmańczyka w Bytomiu [63].	39
Rysunek 9.	Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na terenie Parku im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu.	40
Rysunek 10.	Opad pyłu i niektórych metali ciężkich na terenie Lasów Panewnicko-Kochłowskich [63].	45
Rysunek 11.	Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na terenie Lasów Panewnicko-Kochłowskich.	46
Rysunek 12.	Opad pyłu i niektórych metali ciężkich na terenie Wojewódzkiego Parku Kultury i Wypoczynku [63].	49
Rysunek 13.	Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na terenie Wojewódzkiego Parku Kultury i Wypoczynku w Chorzowie.	50
Rysunek 14.	Specyficzna podatność magnetyczna χ , całkowity opad pyłu oraz zawartość Pb i Zn w transekcji Rudy Raciborskie – Olkusz.	52

Spis tabel

Tabela 1.	Liczby graniczne zawartości metali ciężkich w glebach ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ekstrahowanych kwasem azotowym [5] i wodą królewską [37]	22
Tabela 2.	Wartość objętościowej podatności magnetycznej κ w poszczególnych poziomach gleb leśnych na 1-hektarowych powierzchniach	27
Tabela 3.	Wartość specyficznej podatności magnetycznej χ ($\times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) oraz zawartość niektórych metali ciężkich rozpuszczalnych w wodzie królewskiej ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) w próbkach glebowych (poziom organiczny) pobranych na 1-hektarowych powierzchniach	28
Tabela 4.	Uśredniona wartość objętościowej podatności magnetycznej κ powierzchni gleby, średni miesięczny opad pyłu oraz wyniki oznaczeń odczynu i przewodnictwa właściwego gleb na 1-hektarowych powierzchniach	31
Tabela 5.	Zestawienie wartości minimalnych, maksymalnych, średnich oraz median podatności magnetycznej gleb dla poszczególnych parków miejskich.	34
Tabela 6.	Wartości przewodnictwa właściwego oraz pH próbek glebowych w wodzie i 1M KCl z poszczególnych obiektów badań.	35
Tabela 7.	Wartości specyficznej podatności magnetycznej gleb χ , zawartość metali ciężkich oraz wartości współczynników zmienności i korelacji w próbkach glebowych z Parku Powstańców Śląskich w Zabrze	37
Tabela 8.	Zawartość niektórych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w próbkach gleb z Parku Powstańców Śl. w Zabrze	38
Tabela 9.	Wartości specyficznej podatności magnetycznej gleb χ , zawartość metali ciężkich oraz wartości współczynników zmienności i korelacji w próbkach glebowych z Parku im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu	42
Tabela 10.	Wartości specyficznej podatności magnetycznej χ oraz zawartość metali ciężkich (ekstrahowanych 2M HNO_3) w próbkach dolomitów pobranych w rejonie Parku im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu	43
Tabela 11.	Zawartość niektórych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w próbkach gleb z Parku im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu	43
Tabela 12.	Wartości specyficznej podatności magnetycznej gleb χ , zawartość metali ciężkich oraz wartości współczynników zmienności i korelacji w próbkach gleb z Lasów Panewnicko-Kochłowskich.	47
Tabela 13.	Zawartość niektórych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w próbkach gleb z Lasów Panewnicko-Kochłowskich	47

Tabela 14.	Wartości specyficznej podatności magnetycznej gleb χ , zawartość metali ciężkich oraz wartości współczynników zmienności i korelacji w próbkach glebowych z Wojewódzkiego Parku Kultury i Wypoczynku	51
Tabela 15.	Zawartość metali ciężkich w świeżej masie grzybów leśnych.	54
Tabela 16.	Zawartość metali ciężkich w suchej masie grzybów leśnych.	56
Tabela 17.	Zawartość metali ciężkich w świeżej masie owoców maliny właściwej (<i>Rubus idaeus</i> L.) zebranych w lipcu 2006 roku	57
Tabela 18.	Zawartość metali ciężkich w suchej masie owoców maliny właściwej (<i>Rubus idaeus</i> L.) zebranych w lipcu 2006 roku	57

1. Wstęp

Emisje i depozycje przemysłowe szkodliwych substancji doprowadziły do zanieczyszczenia gleb na znacznych obszarach w rejonach uprzemysłowionych. Człowiek zagrożony jest przez emisję metali ciężkich obecnych w pyłach i aerozolach przemysłowych, które deponowane są na powierzchni gleby. W Polsce wiele jest rejonów (np. Warszawa, Grudziądz, Kalisz, Opole, Rzeszów, Radom, niektóre miejscowości Górnego Śląska), gdzie opad pyłów przekracza lub przekraczał pod koniec XX w. wielkość $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ rocznie [10]. W województwie śląskim wielokrotnie stwierdzono, że zawartości ołowiu, cynku i kadmu w glebach (w tym również użytkowanych rolniczo) znacznie przekraczały liczby graniczne zarówno europejskie, jak i polskie [59, 65].

W Polsce, jak i w większości krajów europejskich, od kilku dziesięcioleci wykonywane są okresowe badania zawartości metali ciężkich w glebie lub prowadzony jest stały monitoring gleb. Dotyczy to w głównej mierze gleb uprawnych, a w ostatnich latach, opierając się na ogólnoeuropejskiej sieci ICP Forest (Międzynarodowy Program Współpracy w Dziedzinie Oceny i Monitoringu Efektów Wpływu Zanieczyszczenia Powietrza na Lasy) [18], również terenów leśnych. W tym ostatnim przypadku jednak badania zanieczyszczenia gleb ograniczają się jedynie do podstawowych parametrów fizycznych i chemicznych, takich jak: skład granulometryczny, odczyn, pojemność sorpcyjna, zawartość składników pokarmowych. Tylko w niektórych przypadkach określana jest zawartość metali ciężkich. Ponadto w Polsce sieć stałych powierzchni obserwacyjnych pierwszego i drugiego rzędu (odpowiednio: SPO I i SPO II), na których wykonywane są badania gleb leśnych w ramach Państwowego Monitoringu Lasów, zlokalizowane są wyłącznie na terenie należącym do Lasów Państwowych. W przypadku województwa śląskiego z nieznanego powodu powierzchnie monitoringowe omijają całkowicie obszar Nadleśnictwa Katowice i południową część Nadleśnictwa Brynek, a więc tzw. Leśny Pas Ochronny GOP opasający najbardziej uprzemysłowioną i zurbanizowaną część województwa śląskiego, gdzie prawdopodobieństwo wystąpienia zanieczyszczeń metalami ciężkimi jest najwyższe. Na tych terenach, jak również na terenie lasów komunalnych należących do poszczególnych gmin oraz parków miejskich o charakterze leśnym, stały monitoring zanieczyszczeń glebowych nie

jest prowadzony, w związku z tym stan wiedzy na temat zanieczyszczenia tych gleb oraz ewentualnych zagrożeń z tym związanych jest niewielki.

Region Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP) jest największym skupiskiem ludności w Polsce (liczącym około 2 mln mieszkańców), jak również terenem o największym zagrożeniu ekologicznym, będącym wynikiem wieloletniej kumulacji zanieczyszczeń przemysłowo-miejskich w glebach tego obszaru. W rejonie tym zostały stwierdzone liczne anomalie geochemiczne, będące wynikiem antropopresji [26]. Również na mapie podatności magnetycznej gleb Polski [27] teren GOP widnieje jako rejon największej w kraju (obszarowo) i najwyższej co do wartości anomalii podatności magnetycznej.

Badania prowadzone na terenie Rejonowego Zarządu Lasów Państwowych Katowice [55], w Parkach Narodowych [28], jak i na obszarach leśnych Europy Środkowej (projekt MAGPROX) [29] wykazały, że obszary leśne są szczególnie predysponowane do zastosowania magnetometrii glebowej ze względu na występowanie tutaj naturalnego układu profilu glebowego, w którym można łatwo wyróżnić poziomy glebowe i prześledzić pionowy rozkład podatności magnetycznej i zanieczyszczeń. Ponadto w ściółce leśnej (podpoziomy Of i Oh, a na terenach długotrwałej działalności przemysłowej nawet Ah – GOP, Zagłębie Ruhry) następuje największe nagromadzenie ferrimagnetyków antropogenicznych oraz związanych z nimi metali ciężkich. Ma to istotne znaczenie w przypadku oceny zagrożeń ekologicznych występujących na terenach anomalii podatności magnetycznej, gdzie z reguły odczyn gleb leśnych jest bardzo kwaśny ($\text{pH} < 3,0$). Sprzyja on uwalnianiu zanieczyszczeń (w tym metali ciężkich) do środowiska glebowego, a następnie pobieraniu ich przez rośliny runa leśnego, a także stwarza możliwość ich przenikania do wód gruntowych. Nie bez znaczenia są również zróżnicowane źródła metali ciężkich (emisje z hut żelaza, cynku i ołowiu, elektrownie, koksownie, cementownie itd.).

Zastosowanie magnetometrii terenowej na obszarach parkowo-leśnych pozwoli na precyzyjne wskazanie miejsc największych zagrożeń, a dodatkowe badania chemiczne gleb i roślin pozwolą stwierdzić, czy nagromadzone w glebie zanieczyszczenia kumulują się również w roślinach, stwarzając realne zagrożenie ekologiczne.

2. Cel i zakres badań

Głównym celem badań było określenie stanu środowiska glebowego na terenie lasów miejskich, parków GOP i obszarów sąsiadujących z GOP (będących z jednej strony miejscami rekreacji dla ludności aglomeracji górnośląskiej, a z drugiej będących miejscem gromadzenia się największej w Polsce ilości zanieczyszczeń) oraz ocena bezpośrednich zagrożeń ekologicznych, wynikających z depozycji zanieczyszczeń w glebach i akumulacji szkodliwych substancji w grzybach i owocach runa leśnego.

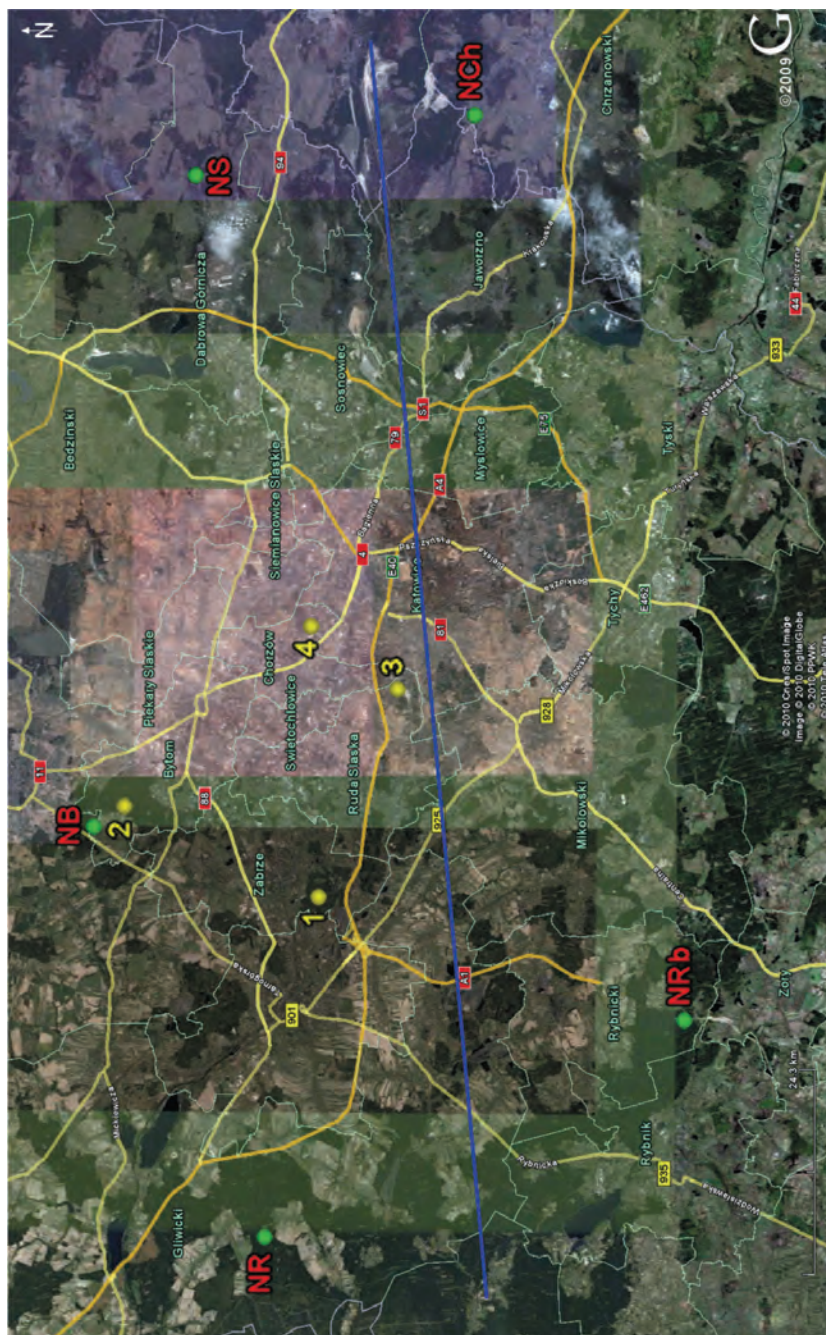
Istotą badań było praktyczne zastosowanie szybkiej, taniej w porównaniu z klasycznymi metodami geochemicznymi i bardzo dokładnej metody, obrazującej przestrzenne rozmieszczenie zanieczyszczeń pochodzących z pyłowych imisji przemysłowych, która może mieć zastosowanie przy ekologicznej ocenie terenu oraz przy formułowaniu opinii dotyczącej jej przyszłego przeznaczenia i zagospodarowania.

Określenie warunków, w jakich metoda ta będzie mogła być zastosowana na danym terenie (pomiaru metodą punktów rozproszonych, w regularnej siatce lub w transektach) oraz określenie szczegółowych zasad postępowania (standardów) w przypadku rutynowego badania tego typu obiektów w przyszłości to również jeden z celów przeprowadzonych badań.

Wybrano następujące obiekty badań (Rys. 1):

1. Obszary jednohektarowe na terenie lasów województwa śląskiego w nadleśnictwach:
 - Rybnik – teren leśnictwa Kłokocin z 60-letnim drzewostanem sosnowym i świerkowym z niewielką domieszką gatunków liściastych;
 - Rudziniec – teren leśnictwa Bojszów z 80-letnim drzewostanem bukowym;
 - Brynek – teren Stolarzowic – dzielnicy Bytomia z 80-letnim drzewostanem świerkowym i modrzewiowym;
 - Siewierz – teren leśnictwa Łosień z 80-letnim drzewostanem sosnowym, położony w niewielkiej odległości od Huty Katowice i Koksowni Przyjaźń;
 - Chrzanów – teren leśnictwa Ciężkowice z 80-letnim drzewostanem sosnowym, położony w niewielkiej odległości od Elektrowni Siersza i lokalnych zabudowań;

2. Tereny parkowo-leśne, leżące na terenie miast centralnej części GOP:
 - Park Powstańców Śląskich w Zabrzu – obszar ok. 450 ha położony pomiędzy Zabrzem a Sośnicą (dzielnica Gliwic), od południa przylegający bezpośrednio do Kopalni i Koksowni Makoszowy, będący terenem niedzielnych spacerów i wypoczynku mieszkańców Zabrza, Makoszów i Sośnicy. Ze względu na fakt planowanego przebiegu przez północną część parku Drogowej Trasy Średnicowej i autostrady A4, przebiegającej ok. 600 m na południe od Parku możliwe jest wykorzystanie zgromadzonych danych jako danych wyjściowych do monitorowania zmian zaistniałych na skutek oddziaływania wspomnianych obiektów komunikacyjnych.
 - Park im. Edmunda Osmiańczyka i tereny leśne położone na obszarze Bytomia pomiędzy dzielnicami: Stroszek, Miechowice, Stolarzowice, Sucha Góra oraz dzielnicą Zabrza – Helenką. Jest to obszar ok. 2200 ha, będący połączeniem parku miejskiego i naturalnych kompleksów leśnych. Rekreacyjna rola tego obszaru wzrosła ostatnio po usytuowaniu na jego terenie w Suchej Górze (dzielnica Bytomia), w kamieniołomach po dawnej eksploatacji dolomitu, Sportowej Doliny, która zyskuje sobie uznanie w całym regionie. Również w tym przypadku przez środek tego kompleksu planowane jest przeprowadzenie autostrady A1. Obszar ten znajduje się pod wpływem emisji Huty Cynku i Ołowiu Orzeł Biały w Piekarach Śląskich oraz Huty Miasteczko Śląskie.
 - Lasy Panewnicko-Kochłowskie położone na obszarze 3 miast: Rudy Śląskiej, Chorzowa i Katowic – obejmują obszar ok. 1200 ha, rozciągający się pomiędzy Kochłowicami (dzielnica Rudy Śląskiej) na zachodzie, Panewnikami (dzielnica Katowic) na południu a Załęską Hałdą (dzielnica Katowic) na wschodzie. Od północy granicę obszaru stanowi nowo zbudowana autostrada A4. Od północy do badanego obszaru bezpośrednio przylegają tereny Kopalni Śląsk, a od wschodu Kopalni Wujek. Ok. 2 km na zachód położona jest Kopalnia i Elektrownia Halemba, a na południu oczyszczalnia ścieków. Na terenie kompleksu położone są: Ośrodek Sportowo-Wypoczynkowy KWK Nowy Wirek, Ośrodek Wczasów Niedzielných KWK Śląsk i Ośrodek Wypoczynku Niedzielnego Radoszowy.
 - Wojewódzki Park Kultury i Wypoczynku – obszar ponad 600 ha parku utworzonego w 1951 r. na nieużytkach położonych u styku trzech miast śląskich (Chorzowa, Katowic i Siemianowic Śl.), będący miejscem rekreacji dla ludności całego województwa śląskiego. Główne źródła emisji w tym regionie to huty żelaza: Huta Kościuszko w Chorzowie i Huta Siemianowice oraz huta cynku i ołowiu w Wełnowcu (dzielnica Katowic).
3. Transekt Rudy Raciborskie-Olkusz o długości ok. 140 km poprowadzony z zachodu na wschód byłego województwa katowickiego poprzez kompleksy



Rysunek 1. Lokalizacja obiektów badań (1 – Park Powstańców Śląskich w Zabrze, 2 – Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu, 3 – Lasy Panewnisko-Kochłowieckie, 4 – Wojewódzki Park Kultury i Wypoczynku, Nadleśnictwa: NRb – Rybnik, NR – Rudziniec, NB – Brynek, NS – Siewierz, NCh – Chrzanów, niebieska linia – transekt Rudy Raciborskie-Olkusz

leśne i będący pod wpływem emisji m.in. z Elektrowni Łaziska, Zespołu Elektrowni Jaworzno oraz miast Górnego Śląska.

Zakresem badań objęto następujące zagadnienia:

- Wyznaczenie powierzchni pomiarowych w poszczególnych obiektach badań.
- Rozpoznanie magnetyczne obszarów badań w ustalonej sieci pomiarowej.
- Sporządzenie map rozkładu powierzchniowego podatności magnetycznej i dokonanie jej analizy pod kątem ustalenia miejsc poboru prób do szczegółowych badań chemicznych.
- Dokonanie (na wszystkich obiektach) poboru próbek z górnej (ok. 10 cm – poziomy Of/Oh i Ah) warstwy gleby do badań chemicznych na zawartość metali ciężkich oraz w 27 punktach z terenów Parku Powstańców Śląskich, Lasów Panewnicko-Kochłowskich i Parku im. Edmunda Osmańczyka próbek z poziomu organicznego celem wykonania analiz na zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).
- Analizy chemiczne na zawartość metali ciężkich: Fe, Mn, Zn, Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Co w próbkach glebowych pobranych z terenów nadleśnictw i parków miejskich oraz Zn i Pb w próbkach z transektu.
- Pobór prób materiałów roślinnych (owoce malin oraz grzyby) do analiz chemicznych na zawartość metali ciężkich na obszarze Lasów Panewnicko-Kochłowskich i Parku im. E. Osmańczyka. Dodatkowo, dla celów porównawczych zbadanie pod względem zawartości metali ciężkich grzybów suszonych kupionych w sklepie, a (wg informacji na opakowaniu) zebranych w miejscowości Raków w woj. świętokrzyskim. Zbadanie również malin ogrodowych pochodzących z prywatnego ogródka leżącego w pobliżu jednego z obiektów badań, a mianowicie Parku im. E. Osmańczyka w Bytomiu.
- Określenie zasad stałego monitoringu badanych obszarów wraz z dostosowaniem magnetometrii do wymogów monitoringu jako metody wstępnego rozpoznania terenu, a także zaleceń odnośnie do bezpiecznego wykorzystania badanych terenów do celów rekreacyjnych oraz planów dalszego zagospodarowania tych terenów.

3. Podstawy metodyczne i historyczne magnetometrii pyłów przemysłowych i gleb

U podstaw magnetometrii leży stwierdzenie faktu, że składnikiem wielu pyłów przemysłowych jest żelazo metaliczne i jego magnetyczne związki (magnetyt, maghemit, pirotyt, hematyt, ferryty i in.), których obecność w glebie można łatwo wykryć dzięki pomiarom podatności magnetycznej. Antropogeniczne pochodzenie cząstek magnetycznych znalezionych w osadach dennych Zatoki Meksykańskiej zostało potwierdzone przez Doyle'a [6]. W latach osiemdziesiątych stwierdzono podwyższoną wartość podatności magnetycznej w górnej warstwie gleb wokół ośrodków przemysłowych środkowej i północnej Anglii [60]. Wyniki te sugerują istnienie powiązania pomiędzy wzrostem podatności magnetycznej gleb w niektórych rejonach a emisjami przemysłowymi. Obecność magnetycznych form żelaza została również stwierdzona w aerozolach przemysłowych [4, 20].

W Instytucie Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu badania nad podatnością magnetyczną gleb i pyłów przemysłowych rozpoczęto pod koniec lat osiemdziesiątych [54]. Obecność cząstek magnetycznych stwierdzono w pyłach metalurgicznych i cementowych, jednak, jak wykazują badania, źródła te mają znaczenie lokalne. Największym w skali ilościowej i obszaru oddziaływania źródłem cząstek magnetycznych pochodzenia antropogenicznego są jednak popioły lotne, powstające w wyniku spalania węgla kamiennego i brunatnego w pyłowych paleniskach elektrowni [44, 45, 46, 47, 54, 55]. W procesie spalania żelazo zawarte w węglu (głównie w postaci siarczków) jest przekształcane w magnetyczne tlenki żelaza (głównie magnetyt i maghemit). Wg Flandersa [7] wzrost zawartości siarczków w węglu o 1% wagowy powoduje wzrost zawartości tlenków żelaza w popiele o 7%. Dzięki wysokim kominom elektrowni popioły lotne emitowane do atmosfery mogą być transportowane na znaczne odległości [12]. Biorąc pod uwagę znaczne ilości spalanego węgla w Polsce (rocznie ponad 84 mln Mg węgla kamiennego i ponad 57 mln Mg węgla brunatnego) [11] oraz w innych krajach, gdzie węgiel jest ciągle jeszcze głównym źródłem energii, jak również rozmieszczenie dużych elektrowni węglowych, cząstki magnetyczne pochodzenia antropogenicznego mogą być obecne nawet w glebach terenów znacznie oddalonych od głównych obszarów emisji zanieczyszczeń. Bardzo ważnym

i często niedocenianym źródłem zanieczyszczeń pyłowych jest tak zwana niska emisja, pochodząca ze spalania węgla w tysiącach małych kotłowni miejskich i osiedlowych oraz milionach palenisk domowych.

Badania statystyczne wykonane na terenie dawnego województwa katowickiego (z lat 1975–1998) wykazały istnienie wysokich korelacji między podatnością magnetyczną gleb a takimi parametrami emisji i imisji, jak: całkowita emisja pyłów ($r = 0,90$), emisja pyłów energetycznych ($r = 0,87$), emisja pyłów metalurgicznych ($r = 0,92$), emisja pyłów cementowych ($r = 0,37$), zawartość pyłu zawieszonego ($r = 0,66$), zawartość żelaza w powietrzu ($r = 0,66$), opad pyłu ($r = 0,68$), opad żelaza ($r = 0,44$), opad cynku ($r = 0,59$), opad ołowiu ($r = 0,60$) oraz opad kadmu ($r = 0,54$) [46, 50].

Liczne badania geochemiczne popiołów lotnych z polskich [23, 35, 40], amerykańskich [14, 17] i angielskich [62] elektrowni węglowych wykazały, że zawierają one znaczne ilości metali ciężkich. Co więcej, badania [17] wykazały, że większość pierwiastków, szczególnie tych należących do pierwszego szeregu przejściowego (podgrupa b w grupach III–VIII układu okresowego), takich jak: Pb, Zn, Cd, V, Cr, Co, Ni, Cu występujących w węglu głównie w postaci siarczków, w popiołach lotnych związana jest z minerałami magnetycznymi. Struktura krystalograficzna magnetytu i różnego rodzaju ferrytów tworzących się w wysokich temperaturach pozwala na wprowadzenie w jej obręb licznych pierwiastków, które w środowisku glebowym mogą być potencjalnie niebezpieczne dla roślin, zwierząt i ludzi. Badania popiołów lotnych dowiodły, że metale ciężkie mogą być również zaadsorbowane na powierzchni cząstek. Szczególnie najdrobniejsza frakcja popiołów lotnych o bardzo rozwiniętej powierzchni może być wzbogacona w takie metale, jak: Cr, Mn, Pb, V i Zn [21, 23]. Metale ciężkie związane na powierzchni cząstek popiołów jedynie siłami adsorpcji mogą być bardzo łatwo uruchamiane w glebie (szczególnie przy kwaśnym odczynie), stanowiąc poważne niebezpieczeństwo dla środowiska. Postępujące zakwaszanie gleb związane z emisją SO_2 i kwaśnymi deszczami może być elementem przyspieszającym uwalnianie metali ciężkich.

Badania własne [46] potwierdziły, że zależność pomiędzy wartością podatności magnetycznej i zawartością niektórych metali ciężkich (Mn, Zn, Pb, Ni) w pyłach jest bardzo wysoka (współczynnik korelacji rzędu 0,8 – 0,9).

Jeżeli cząstki magnetyczne oraz znaczna część metali ciężkich dostających się do gleby w wyniku emisji i imisji przemysłowych pochodzi z tych samych źródeł, możliwe jest wykorzystanie cząstek magnetycznych jako wskaźnika występowania potencjalnego zagrożenia. Pomiary podatności magnetycznej górnej warstwy gleby dokonywane *in situ* są proste, szybkie i tanie w porównaniu z klasycznymi metodami stosowanymi w monitoringu gleb. Pozwalają na zebranie w krótkim czasie odpowiedniej ilości danych do wykonania orientacyjnych map przestrzennego rozmieszczenia podatności magnetycznej pochodzącej ze źródeł antropogenicznych (imisje pyłowe). Podatność magnetyczna może być wskazówką do poszukiwania na tym terenie obecności również innych zanieczyszczeń

przemysłowych. Dotyczy to szczególnie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) [16, 33] oraz selenu [51].

Analiza rozkładu przestrzennego podatności magnetycznej górnej warstwy gleb Polski [27] pozwala postawić czynnik antropogeniczny na pierwszym miejscu pośród innych przyczyn powodujących anomalie magnetyczne. Największe obszarowo i najsilniejsze anomalie magnetyczne obserwuje się w rejonach najbardziej zurbanizowanych i zindustrializowanych, takich jak GOP. Dają one obraz rozprzestrzeniania się emisji i imisji pyłowych wytwarzanych przez główne gałęzie przemysłu, w których wykorzystuje się paliwa stałe jako źródło energii. Budowa wysokich kominów oraz stosowanie coraz efektywniejszych urządzeń odpylających w dużych elektrowniach i nowopowstających zakładach przemysłowych powoduje znaczne zmniejszenie imisji z tych źródeł w ich pobliżu, dlatego też zupełnie niewidoczne lub mało zauważalne są anomalie w rejonie Połańca, Koźienic, Bełchatowa, czy nawet Konina, gdzie działają trzy duże elektrownie, ale cząstki magnetyczne oraz metale ciężkie przez nie emitowane mogą być znajduwane w odległości nawet do 200 km od źródeł emisji. Wiąże się to z faktem, że w części aerozolowej emitowanych zanieczyszczeń energetycznych ołów często przeważa nad cynkiem [23]. Taki układ stwierdzono między innymi w glebach Karkonoszy [42] oraz Beskidów [9, 48]. W przypadku Karkonoszy potwierdzają to badania Zwoździaka [66], który w latach 1992–1993 w pięciu punktach pomiarowych stwierdził w opadzie znaczną przewagę ołowiu nad cynkiem.

Na obszarach miejsko-przemysłowych, gdzie roczny opad pyłu przekracza lub na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci przekraczał $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, korelacja pomiędzy wielkością podatności magnetycznej a zawartością metali ciężkich w glebach jest wysoka [15, 30, 46]. W rejonach takich bardzo często występują anomalie magnetyczne i geochemiczne pochodzenia antropogenicznego. Jednak przy ich analizie i interpretacji należy brać pod uwagę wpływ tła geologicznego oraz procesów glebotwórczych [13].

4. Opis zastosowanych metod badawczych

Ogólne zasady magnetometrii terenowej oraz procedury pomiarowe stosowane na obszarach leśnych zostały wypracowane w ramach międzynarodowego projektu MAGPROX [41]. W ramach prezentowanych badań dostosowano je do specyfiki badanych terenów, znajdujących się w rejonie silnej antropopresji. Ze względu na dużą zmienność przestrzenną podatności magnetycznej na terenach miejsko-przemysłowych i dość łatwą dostępność terenu badań, po wstępnym rozpoznaniu terenu, założono stosunkowo gęstą siatkę pomiarową (ok. $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ na jednohektarowych powierzchniach badawczych oraz $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ w Parku im. Osmańczyka i w Lasach Panewnicko-Kochłowskich, $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ w zabrzańskim Parku Powstańców Śląskich oraz w Wojewódzkim Parku Kultury i Wypoczynku (WPKiW), natomiast znacznie ograniczono wymogi, co do odległości punktów pomiarowych od lokalnych źródeł emisji i ciągów komunikacyjnych. Jednocześnie, na terenie WPKiW postanowiono wyłączyć z badań obiekty zamknięte, takie jak Stadion Śląski, Śląski Ogród Zoologiczny, Kąpielisko Fala, czy Wesołe Miasteczko. Natomiast w przypadku transektu Rudy Raciborskie – Olkusz poboru próbek dokonano co 10–15 km w zależności od dostępności terenu.

Pomiary terenowe zostały wykonane w 2005 i 2006 roku za pomocą miernika podatności magnetycznej Bartington przy użyciu czujnika terenowego MS2D. Miernik jest w pełni zintegrowany z systemem GPS Trimble [41]. W trakcie pomiaru podatności magnetycznej gleby automatycznie wprowadzane są koordynaty pozycji geograficznej, co pozwala na automatyzację procesu tworzenia mapy cyfrowej przy pomocy oprogramowania komputerowego GIS. Mapy badanych obiektów, pokazujące dokładny rozkład przestrzenny anomalii magnetycznej na terenie każdego z nich, były punktem wyjściowym do drugiego etapu badań. W celu sporządzenia charakterystyki geochemicznej badanego obszaru na terenie lasów i parków miejskich zostały pobrane próbki glebowe do dalszych analiz.

W laboratorium, przed wykonaniem analiz chemicznych, próbki glebowe (umieszczone w standardowych pojemniczkach plastikowych o pojemności 1 cm^3 oraz zważone na wadze laboratoryjnej) poddane zostały pomiarom objętościowej podatności magnetycznej k przy użyciu miernika podatności magnetycznej Bartington i sondy laboratoryjnej MS2B. Na podstawie tych pomiarów obliczono wartości specyficznej podatności magnetycznej (χ) z następującej zależności:

$$\chi = \kappa/\rho \text{ [m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\text{]},$$

gdzie κ jest objętościową podatnością magnetyczną mierzoną w polu magnetycznym o niskim natężeniu ($\sim 1\text{mT}$), a ρ – gęstością właściwą badanej próbki.

Uzyskane wartości umożliwiają porównanie wartości podatności magnetycznej próbek gleb z różnych punktów pomiarowych i z różnych poziomów genetycznych oraz o różnych gęstościach.

Następnie oznaczono odczyn gleby w roztworze wodnym i KCl metodą potencjometryczną [34], przewodnictwo właściwe metodą konduktometryczną, przy stosunku substratu do wody 1:5 oraz określono zawartość niektórych metali ciężkich (Fe, Mn, Zn, Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Co, w próbkach z transektu – tylko Pb i Zn). Analizy chemiczne próbek glebowych z badanych nadleśnictw zostały przeprowadzone wg norm i procedur Państwowego Monitoringu Środowiska stosowanych w monitoringu gleb [37], natomiast analizy próbek z pozostałych obiektów badań zostały przeprowadzone wg metodyki Szwajcarskiej Agencji Środowiska, Lasów i Krajobrazu [5]. Metodykę szwajcarską zastosowano ze względu na roztwór ekstrahujący, którym jest 2M kwas azotowy. Zawartość metali ciężkich określona zgodnie z tą metodyką odpowiada około 80% zawartości całkowitej, ekstrahowanej wodą królewską. Przy ekstrakcji gleby średnio stężonymi kwasami do roztworu przechodzą składniki o różnym stopniu rozpuszczalności, np. ze świeżo strąconych związków chemicznych, związków bezpośrednio dopływających do gleby, pochodzących np. z nawożenia, czy emisji przemysłowych.

Tabela 1. Liczby graniczne zawartości metali ciężkich w glebach ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ekstrahowanych kwasem azotowym [5] i wodą królewską [37]

Ekstrahent	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni
2M HNO_3	150	50	0,8	40	50	50
woda królewska	300	100	4	150	150	100

Ekstrakcja kwasem azotowym może być stosowana jako metoda wskaźnikowa do oceny stopnia zanieczyszczenia gleb, zwłaszcza w rejonach uprzemysłowionych. Dla obydwu metod dla poszczególnych składników określone są liczby graniczne, umożliwiające ocenę stopnia skażenia gleb (Tab. 1).

W próbkach glebowych z poziomu organicznego 3 obiektów (Lasy Panewnicko-Kochłowieckie, Park Powstańców Śl. i Park im. Osmańczyka) oznaczono również sumę 9 wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) (naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, benzo(ghi)perylen) oraz zawartość poszczególnych WWA (naftalen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, benzo(ghi)perylen, dibenzo(ah)antracen, indeno(1,2,3-cd)piren, benzo(e)piren, perylen, koronen) metodą HPLC-FLD, zgodnie z akredytowaną procedurą badawczą Centralnego Laboratorium Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach.

Na terenie badanych lasów i parków w 2006 roku zebrane zostały owoce runa leśnego i grzyby jadalne (tylko na tych obiektach, na których stwierdzono ich występowanie) w celu wykonania analiz chemicznych, określających zawartość metali ciężkich w roślinach zbieranych przez ludność korzystającą z tych terenów zielonych. W próbach roślinnych, po mineralizacji na sucho i przeprowadzeniu popiołu do roztworu, zgodnie z procedurą podaną przez Ostrowską i in. [34], określono zawartość Fe, Mn, Zn, Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Co metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA).

5. Omówienie wyników badań

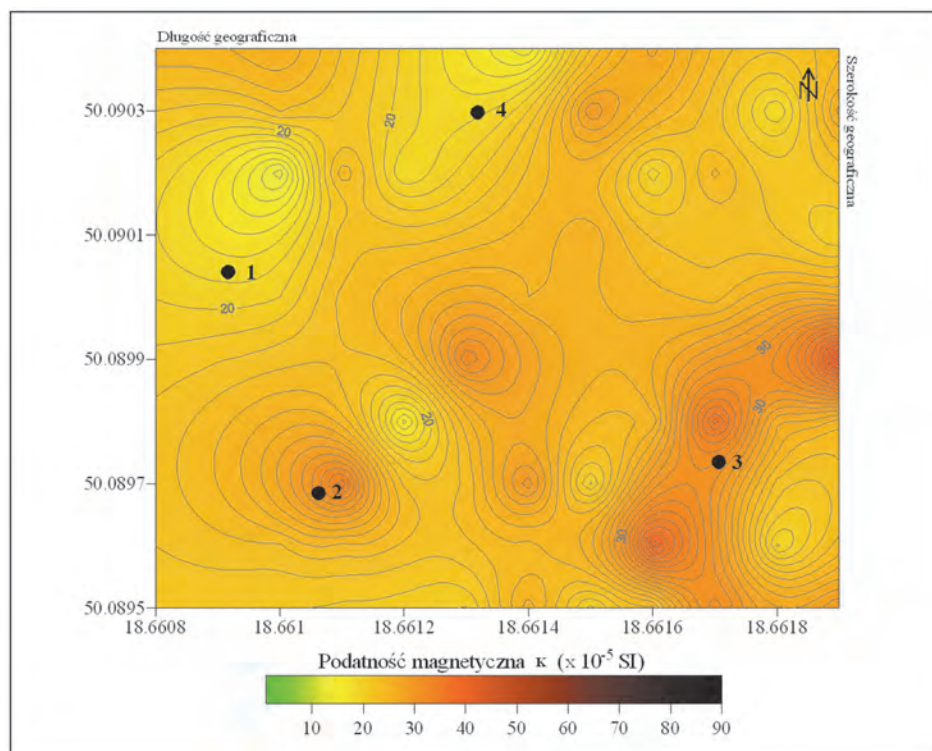
5.1. Obszary jednohektarowe gleb w Nadleśnictwach

5.1.1. Rybnik

Powierzchnię zlokalizowaną na terenie leśnictwa Kłokocin w rejonie Żor-Szczekowic cechuje niezbyt duża zmienność przestrzenna objętościowej podatności magnetycznej κ , której wartości zmierzone na powierzchni gruntu wynoszą $16\text{--}45 \times 10^{-5}$ SI. Najwyższe wartości występują w południowo-wschodniej części, a najniższe w części północno-zachodniej badanej powierzchni (Rys. 2). Wartości objętościowej podatności magnetycznej κ rosną w głąb profilu glebowego osiągając w poziomie Ah wartość 82×10^{-5} SI (Tab. 2). Próbki do analiz chemicznych pobrano z poziomu organicznego gleby z punktów o niższej wartości κ (północno-zachodnia część, próbki nr 1 i 4) oraz z rejonów o wyższej wartości κ (część południowa i wschodnia, próbki nr 2 i 3). Wartość specyficznej podatności magnetycznej χ (zmierzona w laboratorium) wybranych próbek jest stosunkowo wysoka (ponad $300 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$), jedynie w punkcie 1 zanotowano niższą wartość χ ($163,4 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$). W porównaniu z innymi nadleśnictwami, podobne wartości χ uzyskano dla gleb z Nadleśnictwa Rudziniec i Chrzanów (Tab. 3). Analizując zawartość metali ciężkich, można stwierdzić, że spośród wszystkich badanych nadleśnictw gleby Nadleśnictwa Rybnik charakteryzują się najniższymi zawartościami Fe, Zn, Pb, Cu, Ni i Co (Tab. 3) i są prawie niezanieczyszczone, ponieważ poza ołowiem, zawartość żadnego z metali nie przekracza liczby granicznej określonej w Rozporządzeniu [37].

5.1.2. Rudziniec

Powierzchnia położona w rejonie wsi Rachowice wykazuje wartości κ zmierzone na powierzchni gleby w granicach $10\text{--}47 \times 10^{-5}$ SI (Tab. 2), przy czym widoczne jest zróżnicowanie powierzchni na część południową i południowo-



Rysunek 2. Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na 1-hektarowej powierzchni Nadleśnictwa Rybnik

-wschodnią, gdzie wartości κ wynoszą poniżej 20×10^{-5} SI oraz część północno-zachodnią, gdzie wartości κ wynoszą powyżej 30×10^{-5} SI (Rys. 3). Zróżnicowanie to jeszcze wyraźniej uwidacznia się w pomiarach χ : w części południowo-wschodniej zanotowano wartości χ $233,0 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ w punkcie 1 i $130,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ w punkcie 2, natomiast w części północno-zachodniej powierzchni, w punktach 3 i 4 odpowiednio $494,5$ i $480,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tab. 3). Takie wartości podatności sugerują, że zawartość przynajmniej jednego z metali może być przekroczona w stosunku do krajowych liczb granicznych zanieczyszczenia gleb. Analizy chemiczne potwierdziły te spostrzeżenia w przypadku ołowiu, którego zawartość w punktach 1, 3 i 4 wynosiła odpowiednio 330 , 280 i $266 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. W punkcie 2, położonym w południowej części powierzchni, wartość χ oraz zawartości prawie wszystkich metali były najniższe, natomiast w pozostałych punktach odnotowano zbliżone zawartości metali (Tab. 3).

W kilku punktach powierzchni wykonano też pomiary wartości κ w poszczególnych poziomach glebowych górnej części profilu. W podpoziomie ściółki Ol średnia wartość κ wynosiła ok. 20×10^{-5} SI, w podpoziomie fermentacyjnym Of ok. 26×10^{-5} SI, a w podpoziomie humusowym Oh – średnia wartość κ wynosiła

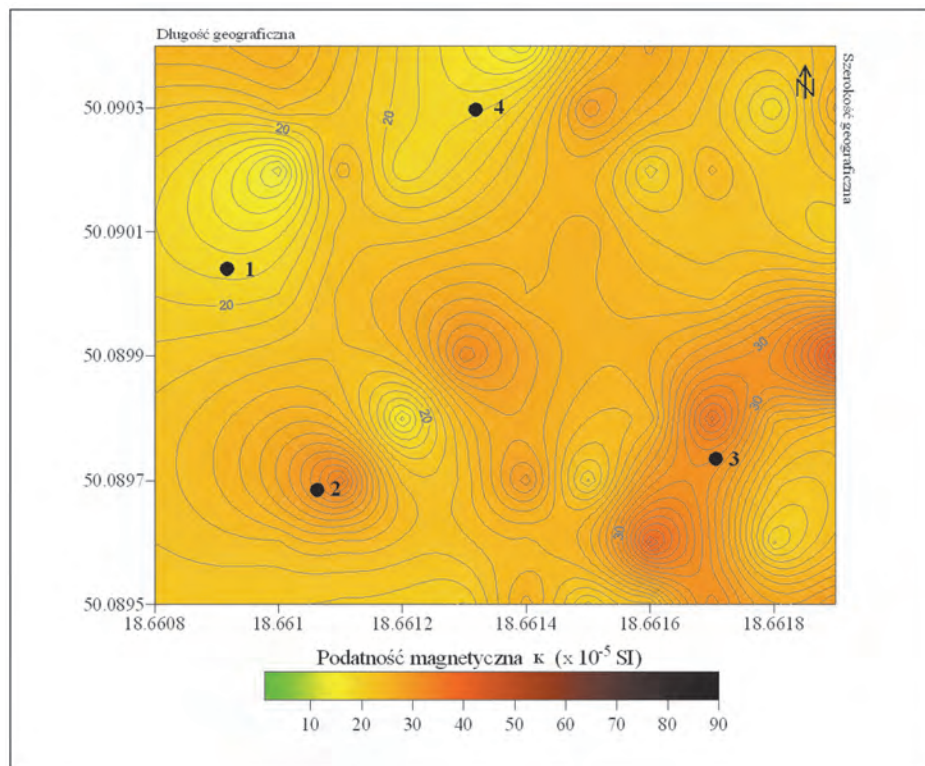
Tabela 2. Wartość objętościowej podatności magnetycznej κ w poszczególnych poziomach gleb leśnych na 1-hektarowych powierzchniach

Nadleśnictwo	Poziom genetyczny	n liczba próbek	Min κ	Max κ	Średnia κ	Odchylenie standardowe
			x 10 ⁻⁵ SI			
Rybnik	Drzewostan sosnowy 60 lat					
	Ol	12	16	45	26,25	7,86
	Of/Oh	6	26	37	28,83	4,17
	Oh/Ah	6	49	67	59,33	7,12
	Ah	3	82	82	82	0
Rudziniec	Drzewostan bukowy 80 lat					
	Ol	18	10	47	19,83	8,97
	Of	14	12	36	25,86	6,85
	Oh	10	36	54	43,1	5,04
Brynek	Drzewostan świerkowy 80 lat					
ST1	Ol	7	35	67	50,29	11,88
	Of/Oh	6	16	146	127,67	9,89
	Oh/Ah	5	92	155	125,2	24,23
	E/B	4	4	8	6,25	1,71
Brynek	Drzewostan modrzewiowy 80 lat					
ST2	Ol	4	20	33	25,25	5,74
	Of	5	28	68	46,8	16,95
	Oh/Ah	4	75	124	95,5	22,58
	Ah/B	4	40	70	50,75	13,25
Siewierz	Drzewostan sosnowy 80 lat					
	Ol	10	42	69	59,2	10,1
	Of	5	55	88	68,8	12,44
	Of/Oh	2	56	89	72,5	23,33
	Oh/Ah	3	92	95	93,67	1,53
	Ah/E	3	33	35	39,75	1,15
Chrzanów	Drzewostan sosnowy 80 lat					
	Ol	10	15	33	23,5	6,67
	Of	6	43	51	47,17	3,37
	Oh/Ah	4	96	125	117,25	14,17
	Ah/E	3	25	54	40,67	14,64
	E	3	21	27	22	4,58

43, a miejscami nawet przekraczała 50×10^{-5} SI (Tab. 2). Taki rozkład pionowy wartości κ jest charakterystyczny dla gleb leśnych. W niższych poziomach wartości te z reguły drastycznie spadają. Zwykle maksymalne nagromadzenie cząstek magnetycznych pochodzenia technogenne oraz towarzyszących im metali ciężkich następuje w podpoziomie Oh i punktowo ich zawartości mogą być stosunkowo wysokie [53].

Tabela 3. Wartość specyficznej podatności magnetycznej χ ($\times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) oraz zawartość niektórych metali ciężkich rozpuszczalnych w wodzie królewskiej ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby) w próbkach glebowych (poziom organiczny) pobranych na 1-hektarowych powierzchniach

Nadleśnictwo	Nr punktu	χ	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
Rybnik	1	163,4	5940	97	67	80	1,7	26	10	5	< 0,5
	2	427,8	11760	112	107	171	1,3	37	12	9	3
	3	486,5	10940	114	96	187	1,6	34	12	8	2
	4	300,1	7880	75	109	120	1,2	24	9	7	< 0,5
Rudziniec	1	233,0	15170	119	157	330	1,2	41	13	14	4
	2	130,9	9670	132	78	160	< 0,1	24	14	8	< 0,5
	3	494,5	14800	160	148	280	2,3	33	15	10	3
	4	480,6	14730	247	157	266	$\leq 0,1$	33	13	12	4
Brynek	1	764,4	22500	166	420	1170	4,1	57	14	16	4
	2	492,6	18200	137	300	760	1,9	49	13	15	5
Siewierz	1	291,1	16700	387	480	600	3,0	41	14	12	6
	2	215,6	14660	317	510	490	6,2	34	10	9	< 0,5
	3	231,7	11430	259	430	400	3,3	28	6	7	3
	4	244,9	13900	240	470	400	5,5	32	9	5	< 0,5
Chrzanów	1	452,9	14050	288	580	420	7,9	49	18	14	4
	2	413,3	13390	203	550	390	6,0	50	16	12	4
	3	430,9	14680	240	840	420	10,5	60	17	13	4
	4	164,7	6490	107	400	186	4,5	50	10	12	< 0,5



Rysunek 3. Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na 1-hektarowej powierzchni Nadleśnictwa Rudziniec

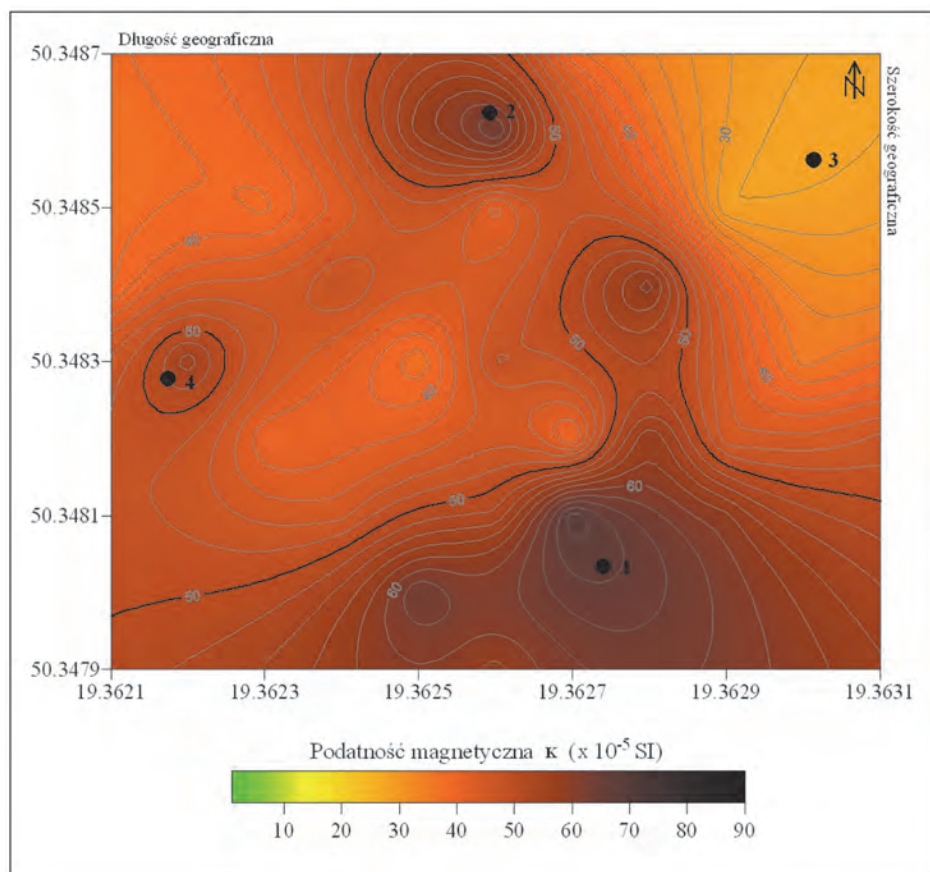
5.1.3. Brynek

Wartości objętościowej podatności magnetycznej κ na powierzchni leśnej w Bytomiu – Stolarzowicach (ST1 i ST2) wahały się pomiędzy 20 a 67×10^{-5} SI i były porównywalne z wynikami uzyskanymi na powierzchni w Nadleśnictwie Siewierz. Wartości κ rosną w głąb profilu glebowego do ponad 140×10^{-5} SI w poziomach Of/Oh i Oh/Ah (Tab. 2). Wartości χ były również bardzo wysokie: $764,4 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ w próbce pobranej z poziomu organicznego z powierzchni ST1 i $492,6 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ w próbce z powierzchni ST2. Zawartość żelaza wahała się tu pomiędzy 1,8 i 2,2%, a więc była również najwyższa. Zgodnie z przewidywaniami, graniczne zawartości metali ciężkich, określone w Rozporządzeniu [37] zostały przekroczone głównie dla Pb (760 i $1170 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), Zn (300 i $420 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), a nieznacznie dla Cd (ST1: $4,1 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Tab. 3). Wysoka podatność magnetyczna χ oraz przekroczone liczby graniczne dla zawartości Pb, Zn i Cd świadczą o wysokim stopniu zanieczyszczenia gleb najprawdopodobniej pyłami pochodzącymi z emisji przemysłowych i z palenisk domowych (w Stolarzowicach dominuje niska zabudowa jednorodzinna).

5.1.4. Siewierz

Powierzchnia zlokalizowana w leśnictwie Łosień na terenie Nadleśnictwa Siewierz położona jest w niewielkiej odległości od Huty Katowice i Koksowni Przyjaźń. Badany obszar jest lekko nachylony w kierunku zachodnim, a więc wystawiony na napływ zanieczyszczeń przemysłowych ze wspomnianych wyżej obiektów. Prawdopodobnie dlatego wartość podatności magnetycznej κ w poziomie Ol dochodzi prawie do 70×10^{-5} SI (Tab. 2). Wysokie są również średnie wartości κ w poszczególnych podpoziomach organicznych profilu glebowego, przy czym w badanym profilu rozkładają się one w miarę jednorodnie w całym poziomie organicznym od 59×10^{-5} SI w Ol do 94×10^{-5} SI w Oh/Ah (Tab. 2). Dopiero na granicy poziomu Ah i E wartość ta spada do ok. 40×10^{-5} SI. Pomimo tak wysokich wartości podatności κ jej rozkład na powierzchni jest w miarę jednorodny, choć południowa i południowo-zachodnia część wykazuje zdecydowanie wyższe wartości niż reszta obszaru (Rys. 4). Stosunkowo jednorodny jest rozkład wartości χ w próbkach glebowych pobranych z poziomu organicznego. Waha się on od ok. $291,1 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ w punkcie nr 1 do ok. $215,6 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ w rejonach o najniższej wartości κ (punkt 2). Zawartość żelaza jest mało zróżnicowana w poszczególnych punktach i waha się od 1,1 do 1,6% (Tab. 3). W próbkach glebowych pobranych z poziomu organicznego stwierdzono również bardzo wysokie zawartości Pb (400 - $600 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), przy czym zdecydowanie wyższe jego ilości zawierała próbka nr 1. Zawartość Zn również we wszystkich próbkach przekraczała określoną w Rozporządzeniu [37] graniczną wartość $300 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ale była mniej zmienna na całej powierzchni (jedynie próbka 2 wykazywała zwiększoną w stosunku do reszty powierzchni zawartość Zn). Zawartość Cd maksymalnie osiągnęła 6,2

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, przy czym wartość ta została stwierdzona w próbce o najniższej wartości χ . W przypadku innych metali nie zanotowano przekroczenia wartości granicznych, choć ich zawartości w porównaniu z innymi nadleśnictwami były podwyższone.

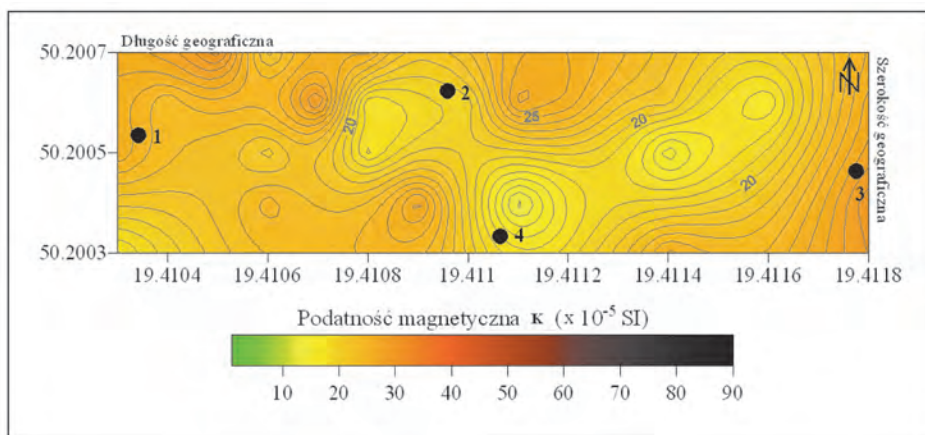


Rysunek 4. Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na 1-hektarowej powierzchni Nadleśnictwa Siewierz

5.1.5. Chrzanów

Powierzchnia zlokalizowana jest w niewielkiej odległości od Elektrowni Siersza oraz lokalnych zabudowań. Charakteryzuje się wartościami objętościowej podatności magnetycznej κ na powierzchni gleby, pomiędzy 15 a 33×10^{-5} SI, (Tab. 2). Powierzchnia badawcza jest wydłużona w kierunku wschód – zachód, a niższe wartości podatności (rzędu 20×10^{-5} SI) występują w jej części środkowej i południowej (Rys. 5). W układzie pionowym występuje sytuacja podobna do zaobserwowanej na powierzchni ST2, gdzie warstwa O1 maskuje wysoką wartość

κ w niższych podpoziomach organicznych. W tym przypadku w podpoziomie Of zanotowano wartości κ około 50×10^{-5} SI, a w podpoziomie Oh/Ah wartość κ osiąga nawet 125×10^{-5} SI (Tab. 2). Stosunkowo wysokie są również wartości specyficznej podatności magnetycznej χ mierzone w poziomie organicznym gleby (podpoziom Of/Oh), które przekraczają wartości $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tab. 3). Jedynie w punkcie 4 zlokalizowanym w południowej części badanej powierzchni wartość χ jest niższa i osiąga $164,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Zawartość żelaza dochodzi tu do 1,5%. Wysokim wartościom χ towarzyszą wysokie zawartości metali (Fe 0,65 – 1,47%, Mn 107 – 288 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Zn 400 – 840 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Pb 186 – 420 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Cd 4,5 – 10,5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Cu 49 – 60 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Wysoka zależność pomiędzy podatnością magnetyczną χ a zawartością metali ciężkich (szczególnie Zn, Pb i Cd) jest charakterystyczna dla rejonów o dużym opadzie pyłów energetycznych i popiołów lotnych [53]. Jednak w rejonie Chrzanowa niebagatelny wpływ na zawartość Zn i Pb mają rudy tych metali obecne w podłożu geologicznym.



Rysunek 5. Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na 1-hektarowej powierzchni Nadleśnictwa Chrzanów

Tabela 4. Uśredniona wartość objętościowej podatności magnetycznej κ powierzchni gleby, średni miesięczny opad pyłu oraz wyniki oznaczeń odczynu i przewodnictwa właściwego gleb na 1-hektarowych powierzchniach

Nadleśnictwo	Średnia κ ($\times 10^{-5}$ SI)	Średni miesięczny opad pyłu $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$		pH		przew. wł.	pH		przew. wł.
		rok 86/87	rok 91/92	H ₂ O		H ₂ O	H ₂ O		H ₂ O
				KCl			KCl		
				1:5 po 3 h			1:5 po 24 h		
Rybnik	49,10	5,996	1,952	3,80	-	153	3,83	3,14	185
Rudziniec	29,60	3,027	3,414	3,70	3,09	194	3,68	3,08	195
Brynek	78,45	3,530	1,874	3,69	-	256	3,67	3,31	323
Siewierz	73,54	4,385	2,392	4,54	3,94	161	4,52	3,04	175
Chrzanów	62,64	10,590	-	4,97	4,35	103	4,99	4,37	119

Gleby na wszystkich 1-hektarowych powierzchniach wybranych nadleśnictw mają odczyn bardzo kwaśny. Wartości powyżej pH 3,5 oznaczone w 1n KCl zanotowano w rejonach, w których występuje obecnie lub występował w przeszłości najwyższy opad pyłów przemysłowych. Alkaliczny charakter pyłów spowodował wzrost odczynu gleb leśnych. Z tego też powodu odczyn gleb w rejonie Elektrowni Siersza (Nadleśnictwo Chrzanów), Huty Katowice (Nadleśnictwo Siewierz) wynosi prawie 4,0 i więcej (Tab. 4).

5.2. Park im. Powstańców Śląskich w Zabrze

Park Powstańców Śl. w Zabrzu leży w południowej części miasta w bezpośrednim sąsiedztwie Kopalni i Koksowni Makoszowy, w rejonie oddziaływania emisji z kopalń Sośnica i Bielszowice oraz tzw. niskiej emisji z pobliskich osiedli mieszkaniowych południowych dzielnic Zabrze i Gliwic.

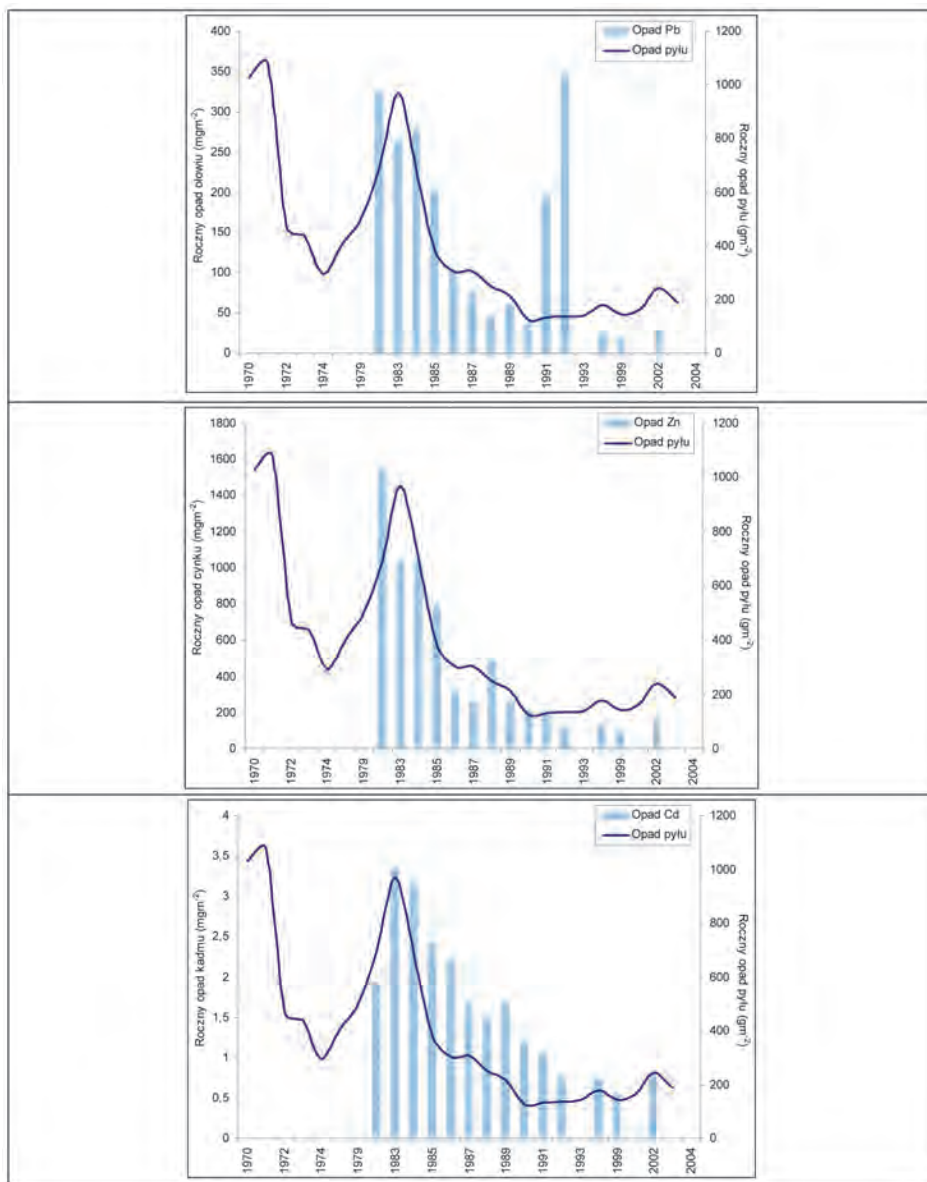
Opad pyłu w omawianym rejonie w latach 1970–1990 2–5 krotnie przekraczał wartość dopuszczalną ($200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$) [38]. Tendencję spadkową zaobserwowano dopiero w 1992 roku, ale w latach 2002–2004 znów odnotowano wzrost wartości opadu pyłu i przekroczenie wartości $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ (Rys. 6). Przekroczenia dotyczą także opadu ołowiu (powyżej $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$), którego ilość w opadającym pyłe uległa zmniejszeniu w latach 1987–1990, po czym gwałtownie wzrosła do wartości $350 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ w 1992 roku, a aktualnie utrzymuje się na poziomie poniżej $30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Wartość dopuszczalna dla kadmu $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ nie została przekroczona w ciągu ostatnich 20 lat. Opad cynku był również bardzo wysoki w latach osiemdziesiątych, a obecnie jego wartości są prawie 8-krotnie niższe od tych, odnotowanych w 1980 roku (Rys. 6).

Na terenie Parku Powstańców Śl. w Zabrzu w 75 punktach pomiarowych wykonano pomiary terenowe objętościowej podatności magnetycznej κ (łącznie 1242 pomiary), której wartości wahały się od 11,8 do $129,0 \times 10^{-5}$ SI (Tab. 5). Najwyższą wartość odnotowano w rejonie punktu 31, zlokalizowanego na granicy parku z osiedlem mieszkaniowym (Rys. 7). W pobliżu tego punktu znajdowało się dzikie wysypisko śmieci, a w odległości kilkunastu metrów – plac zabaw dla dzieci.

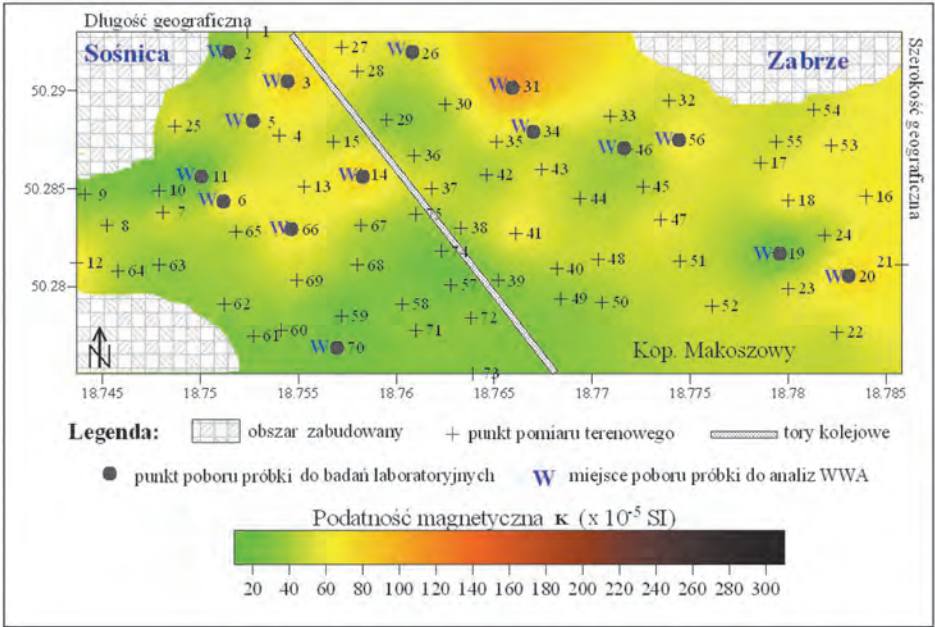
Duże wahania wartości podatności magnetycznej κ mogą być spowodowane zarówno rodzajem drzewostanu (liściasty, iglasty) (Zał. 1), jego wiekiem, właściwościami fizyko-chemicznymi samej gleby, a także położeniem punktu względem głównego źródła emisji. W przypadku omawianego parku niebagatelny wpływ mają wspomniane wcześniej emitory zanieczyszczeń: Koksownia Makoszowy, zwałowiska Makoszowy-Sośnica, a także tzw. niska emisja, której źródłem są paleniska domowe miasta Zabrze, a także Sośnicy – dzielnicy Gliwic.

Odczyn górnej warstwy gleb Parku Powstańców Śl. jest bardzo kwaśny. Prawie wszystkie próbki (poza próbką 2) charakteryzują się odczynem bardzo

kwaśnym ($\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$), aż 10 spośród 15 badanych wykazuje odczyn poniżej 4,0. Taki odczyn oraz wysokie przewodnictwo właściwe, które waha się w zakresie od 186 do 524 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tab. 6), świadczy o degradacji badanych gleb.



Rysunek 6. Opad pyłu i niektórych metali ciężkich na terenie Parku im. Powstańców Śl. w Zabrze [63]



Rysunek 7. Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na terenie Parku Powstańców Śląskich w Zabrzu

Tabela 5. Zestawienie wartości minimalnych, maksymalnych, średnich oraz median podatności magnetycznej gleb dla poszczególnych parków miejskich

Parametr	Park Powstańców Śl. w Zabrzu	Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu	Lasy Panewnicko-Kochłowskie	Wojewódzki Park Kultury i Wypoczynku
podatność magnetyczna terenowa κ ($\times 10^{-5}$ SI)				
powierzchnia (ha)	450	2200	1200	620
n*	79	97	77	105
min.	11,8	19,8	14,2	41,3
max.	129,0	135,6	116,9	310,5
średnia	47,5	57,1	67,1	129,6
mediana	45,5	53,3	68,3	124,8
podatność magnetyczna specyficzna χ ($\times 10^{-8}$ m ³ .kg ⁻¹)				
n*	15	15	17	11
min.	80,1	196,0	104,8	180,4
max.	636,0	657,1	1036,8	608,5
średnia	265,0	367,0	435,2	345,9
mediana	269,9	310,8	332,6	320,3

* liczba punktów pomiarowych

Tabela 6. Wartości przewodnictwa właściwego oraz pH próbek glebowych w wodzie i 1M KCl z poszczególnych obiektów badań

Obiekt badań	Nr punktu pobrania próbki	Przewodnictwo właściwe	pH	
		($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	H ₂ O	1 M KCl
Park Powstańców Śl.	2	282	5,90	5,34
	3	271	4,10	3,47
	5	482	3,77	3,25
	6	239	4,14	3,53
	11	199	3,75	3,26
	14	316	4,43	3,86
	19	524	4,24	3,84
	20	221	4,32	3,94
	26	406	4,78	4,47
	31	219	5,17	4,63
	34	186	4,63	4,04
	46	212	4,27	3,24
	56	334	4,66	4,18
	66	300	4,22	3,54
	70	250	4,10	3,75
Park im. E. Osmańczyka	6	146	4,22	3,91
	16	148	4,98	4,32
	28	502	4,33	3,95
	34	250	5,17	4,49
	39	310	5,97	5,6
	44	128	5,52	4,97
	50	203	4,63	3,77
	58	239	4,70	4,10
	64	214	4,38	3,82
	70	219	3,75	2,98
	80	250	5,24	4,74
	85	495	5,94	5,67
	90	128	4,64	3,77
	95	91	4,24	3,40
	98	228	4,00	3,26

Obiekt badań	Nr punktu pobrania próbki	Przewodnictwo właściwe	pH	
		($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	H ₂ O	1 M KCl
Lasy Panewnicko-Kochłowskie	3	307	7,44	7,18
	4	102	4,49	3,85
	5	652	4,10	3,73
	11	598	4,76	4,37
	13	428	4,58	4,08
	18	250	5,05	4,49
	20	549	4,24	3,85
	21	189	4,12	3,61
	22	191	4,44	3,74
	23	631	4,32	3,30
	29	214	4,83	4,10
	39	2210	4,53	4,05
	51	597	3,75	3,32
	52	381	4,51	3,98
	53	544	4,10	3,76
	54	1172	4,44	3,90
	56	362	4,27	3,73
WPKiW	18	115	6,59	6,08
	26	254	6,72	6,35
	32	150	6,21	5,62
	48	125	5,50	4,86
	53	121	6,47	3,95
	73	110	6,46	6,01
	79	186	7,52	7,31
	102	1137	5,05	4,70
	111	69	5,94	5,04
	118	154	6,26	5,67
	14	81	6,47	5,92

Różnym wartościom podatności magnetycznej towarzyszy zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach badanego obszaru. Dotyczy to zwłaszcza ołowiu i kadmu, których zawartość w próbkach, poza punktem 20, przekracza liczby graniczne (Tab. 7). W przypadku cynku przekroczenie zanotowano w czterech punktach: 2, 6, 19 i 26. Zawartość pozostałych metali jest też mocno zróżnicowana, ale nie przekracza wartości dopuszczalnych [5]. Taki rozkład tych trzech metali (Pb, Cd, Zn) świadczy o wpływie zanieczyszczeń z Koksowni Makoszowy, w których ołów często przeważa nad cynkiem [8, 61].

Tabela 7. Wartości specyficznej podatności magnetycznej gleb χ , zawartość metali ciężkich oraz wartości współczynników zmienności i korelacji w próbkach glebowych z Parku Powstańców Śląskich w Zabrze

Nr *	χ	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
	$\times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby								
2	284,4	3900	520	212	176	4,24	17,6	6,0	5,2	3,6
3	499,3	5500	138	118	256	2,96	30,0	10,0	6,4	2,0
5	416,8	4920	78	140	224	2,56	26,0	9,6	5,6	1,6
6	636,0	4980	175	232	248	3,60	26,0	10,0	6,4	2,4
11	80,1	4020	38	57	71	1,44	10,4	4,4	4,0	1,2
14	107,0	3420	65	104	66	4,72	14,0	4,0	3,6	2,4
19	331,9	3720	355	240	172	4,16	17,2	6,8	4,8	2,8
20	105,6	2648	91	41	48	0,80	7,6	2,8	2,8	1,6
26	269,9	3124	234	172	155	3,16	14,8	6,8	3,6	1,2
31	181,0	2384	115	68	125	1,64	10,4	3,2	2,8	2,0
34	90,0	4940	155	63	62	1,40	6,0	2,4	2,4	2,0
46	105,0	1384	26	104	64	3,64	8,8	2,8	1,2	0,0
56	151,2	4260	290	88	107	2,16	8,8	4,0	3,2	2,4
66	306,5	2376	88	88	135	1,40	13,2	4,4	4,0	2,4
70	409,9	3872	115	76	164	3,32	18,8	6,0	4,8	1,6
średnia	265,0	3697	166	120	138	2,75	15,3	5,5	4,1	1,9
V**	64,1	31,3	81,2	54,1	50,2	44,5	47,8	47,6	36,7	42,4
współczynnik korelacji χ/metal		0,51	0,18	0,61	0,95	0,34	0,91	0,91	0,86	0,28
poziom ufności p***		0,05	0,51	0,02	0	0,22	0	0	0	0,31
dopuszczalna zawartość [5]		-	-	150	50	0,8	40	50	50	-

*numer punktu pobrania próbki glebowej; **współczynnik zmienności (%); ***współczynniki korelacji są istotne przy $p < 0,05$

O technogennych przyczynach wzrostu zawartości metali ciężkich świadczą wysokie współczynniki korelacji pomiędzy podatnością magnetyczną a zawartością tych metali w glebach, a zwłaszcza żelaza, cynku i ołowiu. Stwierdzono także stosunkowo niskie współczynniki zmienności badanych parametrów (Tab. 7).

O wpływie zanieczyszczeń powietrza na gleby Parku Powstańców Śl. świadczy również obecność WWA w pobranych próbkach. W niezanieczyszczonych glebach WWA występują w niewielkich stężeniach. Zawartość WWA w glebie jest wypadkową między ilością tych związków, jakie dostają się do gleby wraz z pyłami atmosferycznymi, ściekami i kompostami, a ilością usuwaną z gleby w wyniku biodegradacji, pobierania przez rośliny, wymywania, ulatniania i rozkładu chemicznego. Znaczny wzrost emisji WWA związany z rozwojem przemysłu w ostatnim stuleciu doprowadził do akumulacji WWA w środowisku glebowym [32]. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie standardów

jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, suma 9 najczęściej występujących WWA w glebach leśnych nie powinna przekraczać $1,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, zaś stężenie benzo(a)pirenu $0,03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [37].

Tabela 8. Zawartość niektórych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w próbkach gleb z Parku Powstańców Śl. w Zabrze

Oznaczany WWA	Nr punktu pobrania próbki									Wart. dop.*	r**
	3	11	14	19	31	56	64	66	70		
	mg·kg ⁻¹ gleby										
Naftalen	0,72	0,16	0,07	0,60	0,13	0,01	0,32	0,06	0,49	0,1	0,62
Acenaften	0,18	0,02	0,01	0,10	0,03	0,00	0,06	0,00	0,08	-	0,56
Fluoren	0,13	0,03	0,03	0,15	0,03	0,00	0,04	0,01	0,11	-	0,59
Fenantren	2,48	0,23	0,19	1,09	0,42	0,03	0,88	0,12	0,92	0,1	0,54
Antracen	0,24	0,03	0,02	0,14	0,04	0,00	0,10	0,01	0,10	0,1	0,55
Fluoranten	2,39	0,24	0,20	1,18	0,45	0,03	1,25	0,14	0,85	0,1	0,51
Piren	1,32	0,13	0,11	0,62	0,23	0,02	0,77	0,07	0,46	-	0,50
Benzo(a)antracen	0,66	0,07	0,05	0,34	0,13	0,01	0,40	0,02	0,28	0,1	0,53
Chryzen	1,10	0,12	0,08	0,56	0,22	0,02	0,69	0,49	0,43	0,1	0,52
Benzo(b)fluoranten	0,91	0,09	0,07	0,40	0,18	0,01	0,68	0,05	0,30	-	0,45
Benzo(k)fluoranten	0,49	0,05	0,03	0,26	0,09	0,01	0,28	0,03	0,17	-	0,50
Benzo(a)piren	0,65	0,07	0,05	0,35	0,13	0,01	0,48	0,04	0,25	0,03	0,49
Benzo(ghi)perylene	0,58	0,06	0,05	0,28	0,10	0,01	0,40	0,04	0,20	0,1	0,47
Dibenzo(ah)antracen	0,18	0,02	0,02	0,08	0,03	0,00	0,12	0,02	0,07	-	0,47
Indeno(1,2,3-cd)piren	0,89	0,09	0,07	0,46	0,16	0,01	0,67	0,06	0,32	-	0,47
Benzo(e)piren	0,95	0,11	0,09	0,53	0,18	0,02	0,63	0,07	0,35	-	0,48
Perylen	0,14	0,01	0,01	0,06	0,02	0,00	0,07	0,01	0,05	-	0,52
Koronen	0,83	0,09	n.o.	n.o.	0,13	n.o.	0,66	n.o.	0,29	-	0,35
Suma 9 WWA	9,30	1,03	0,74	4,79	1,71	0,12	4,80	0,95	3,69	1	0,54

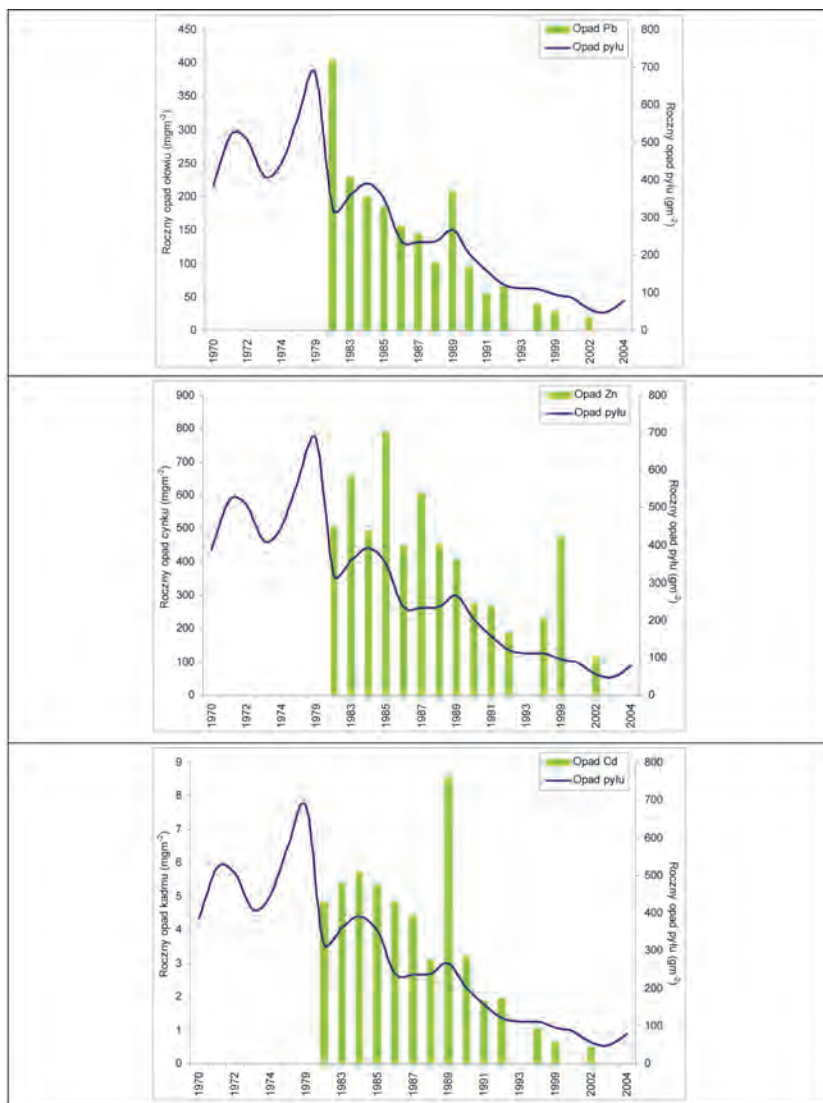
*Wartość dopuszczalna (Dz.U. 2002.165.1359); **Współczynnik korelacji χ /WWA

Przekroczenia wartości dopuszczalnej sumy WWA odnotowano w sześciu próbkach na dziewięć zbadanych, przy wahaniach od $0,119$ do $9,296 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a biorąc pod uwagę zawartość benzo(a)pirenu, tylko jedna próbka spełnia wymogi Rozporządzenia [37] (Tab. 8).

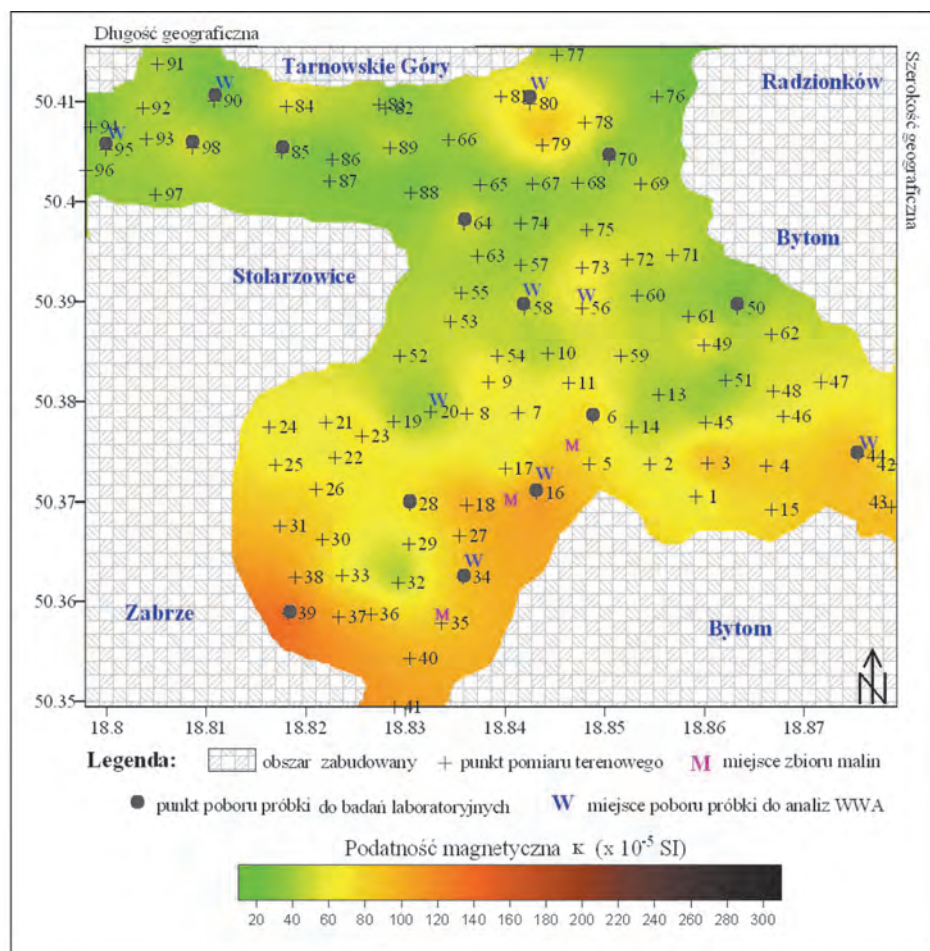
5.3. Park im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu

Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu jest położony najbardziej na północ w stosunku do pozostałych obiektów i podlega wpływom zanieczyszczeń pyłowych pochodzących głównie z zakładów przemysłowych zlokalizowanych na terenie miasta, a także z miast sąsiadujących: m.in. Rudy Śląskiej i Chorzowa.

Na przestrzeni ponad 30 lat opad pyłu wahał się od ok. $1000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ (1995) do $44 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ (2003). Do początku lat osiemdziesiątych opad pyłu nawet trzykrotnie przekraczał dopuszczalną wartość równą $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Podobnie kształtował się opad ołowiu, którego wartość dopuszczalna ($100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$) przestała być przekraczana dopiero po 1990 roku i obecnie osiąga wartości poniżej $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Opad cynku w latach 1981-2002 wahał się od 92 - $1238 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$, a kadmu $0,42$ – $11,82 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Wartość graniczna $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ przekroczona była tylko w 1989 roku. Radykalny spadek opadu cynku i kadmu oraz innych metali nastąpił dopiero po 1992 roku (Rys. 8).



Rysunek 8. Opad pyłu i niektórych metali ciężkich na terenie Parku im. Edwarda Osmańczyka w Bytomiu [63]



Rysunek 9. Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na terenie Parku im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu

Gleby tego Parku charakteryzują się zróżnicowaną terenową podatnością magnetyczną. Waha się ona od $19,8\text{--}135,6 \times 10^{-5}$ (Tab. 5, Zał. 2). Wysokie są jej wartości w południowej części Parku w rejonie dzielnic Bytomia – Bobrka i Miechowice, a także w pobliżu Zabrze Rokitnicy (Rys. 9). Przyczyny szukać należy w emisji zanieczyszczeń pochodzących z głównych emitorów tego rejonu: byłej huty i koksowni w Bobrku, Koksowni Jadwiga oraz Elektrowni Miechowice i elektrociepłowni w Zabrze Rokitnicy. Środkową i północną, a zwłaszcza północno-zachodnią część badanego obiektu uznać można za obszar o małym stopniu zagrożenia gleb przez imisje przemysłowe, ponieważ podatność magnetyczna tych gleb jest niska i nie przekracza wartości 50×10^{-5} . Na podstawie wcześniejszych badań wymieniona wartość została uznana za wartość graniczną, powyżej której można mówić o wystąpieniu anomalii magnetycznej [49, 53].

Poziomy organiczne badanych gleb, mimo że w podłożu mogą występować skały węglanowe, są przeważnie bardzo kwaśne (11 prób na 15 pobranych). Najwyższy odczyn to pH_{KCl} 5,67, a najniższy to pH_{KCl} 2,98. Bardzo kwaśny odczyn gleby wpływa niekorzystnie na biologiczną aktywność oraz na wzrost roślin. Wartości przewodnictwa właściwego wahają się od 91 do $502 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i świadczą o zróżnicowanej ilości soli w badanych glebach (Tab. 6).

Przy bardzo niskich wartościach podatności magnetycznej nie spodziewano się zbyt wysokiej zawartości metali ciężkich. Jednak w przypadku Parku im. Osmańczyka, okazało się, że zawartość metali ciężkich jest bardzo wysoka na całym jego obszarze. W stosunku do pozostałych badanych obiektów w glebach tego parku zaobserwowano największe zawartości takich metali jak Zn, Pb, Cd i Cu, jak również największe ich wahania (Tab. 9). W przypadku cynku są to wartości od 132 do $24640 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, ołowiu 200 do $1544 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, kadmu 4,16–50,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, a miedzi 11,2–35,6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. Ilości cynku, ołowiu i kadmu we wszystkich punktach pomiarowych wielokrotnie przekraczają dopuszczalne normy. Tylko w dwóch punktach zawartość cynku jest nieco niższa od wartości granicznej $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (132 i $140 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Tak znaczne ilości metali ciężkich w glebach nie mogą być technogenne pochodzenia. Znaczny obszar badanego parku pokrywają utwory triasowe, wapienie i dolomity, bogate w rudy cynku, ołowiu, kadmu oraz towarzyszące im rudy miedzi. Wychodnie tych utworów występują w rejonie Bytomia, Stolarzowic oraz Tarnowskich Gór. Badania Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) gleb uprawnych w rejonie Tarnowskich Gór wykazały następujące wahania w zawartości (w wodzie królewskiej) poszczególnych metali ciężkich: Zn 67–2432, Pb 46–1691, Cd 0,8–16,0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, a Fe 0,32–4,69% [58], przy podatności magnetycznej $15\text{--}98 \times 10^{-8} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$.

W celu potwierdzenia tezy, że zawartość metali ciężkich w glebach Parku, oprócz technogennych przyczyn ma również przyczyny geogenne, określono zawartość metali ciężkich w wychodniach wapieni i dolomitów w tym rejonie (Tab. 10). Z danych tych można wnioskować, że bardzo wysoka zawartość Zn, Pb, Cd (kilkadziesiąt razy przekraczająca wartość dopuszczalną) oraz Fe ma pochodzenie geogenne i nie jest to anomalia geochemiczna spowodowana przez opad zanieczyszczeń powietrza, bogatych w te metale. O geogenym charakterze tej anomalii świadczą również bardzo niskie (często nawet ujemne) współczynniki korelacji między specyficzną podatnością magnetyczną a zawartością prawie wszystkich metali ciężkich (Tab. 9). Również niskie wartości korelacji (nieprzekraczające 0,24) dla tego rejonu badań uzyskał Zawadzki i in. [64]. Trudno jednak wykluczyć fakt, że część metali ciężkich pochodzi z erozji wietrznej, jaka towarzyszy osadnikom po flotacji rud cynku i ołowiu w rejonie Bytomia, a także z oddziaływania huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim. Dotyczy to zwłaszcza próby 85, w której stwierdzono aż $50,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ kadmu, $1544 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ołowiu oraz $24640 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ cynku.

Tabela 9. Wartości specyficznej podatności magnetycznej gleb χ , zawartość metali ciężkich oraz wartości współczynników zmienności i korelacji w próbkach glebowych z Parku im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu

Nr*	χ	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
	$\times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby								
6	274,1	6160	258	140	604	4,2	18,4	6,0	4,4	2,4
16	353,4	5640	652	504	452	11,9	18,0	6,8	4,8	4,0
28	546,7	5940	1320	452	516	10,3	18,8	8,8	7,6	4,8
34	288,1	5620	1044	456	232	12,0	22,8	8,0	10,4	4,0
39	420,8	5500	644	640	200	8,3	20,8	6,0	6,4	2,4
44	196,0	4080	182	408	268	7,6	11,2	3,6	2,8	1,6
50	449,5	5240	492	476	696	14,6	28,4	8,0	6,8	4,4
58	657,1	6680	1096	712	924	20,0	31,2	10,8	12,8	4,8
64	394,8	4960	644	168	460	3,8	19,6	7,2	5,2	2,0
70	518,7	5240	100	168	824	3,9	35,6	10,0	4,4	2,0
80	297,6	7140	1524	900	928	12,7	24,8	22,0	6,8	4,8
85	252,6	7320	1180	24640	1544	50,2	27,6	12,0	38,0	8,4
90	307,9	4520	169	204	436	7,1	19,2	6,0	5,6	2,0
95	236,6	7380	51	132	500	4,8	26,4	8,8	4,4	1,2
98	310,8	4300	200	240	580	4,3	20,8	6,8	3,6	2,0
średnia	367,0	5715	637	2016	611	11,7	22,9	8,7	8,3	3,4
V**	35,4	18,6	76,6	310,7	56,2	99,2	26,9	48,7	104,4	56,1
współczynnik korelacji χ /metal		0,04	0,28	-0,23	0,12	-0,03	0,50	0,10	-0,06	0,16
poziom ufności p***		0,89	0,31	0,40	0,66	0,91	0,06	0,74	0,84	0,56
zaw. dopuszczalna [5]		-	-	150	50	0,8	40	50	50	-

*numer punktu pobrania próbki glebowej; **współczynnik zmienności (%); ***współczynniki korelacji są istotne przy $p < 0,05$

Wcześniej prowadzone badania wykazały, że zawartość cynku w odpadach poflotacyjnych rud cynku i ołowiu może dochodzić do 3,5%, ołowiu do 1,5%, a kadmu często przekraczać wartość $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [43]. Biorąc pod uwagę zawartość WWA, liczby graniczne dla ich sumy przekroczone są w 7 próbach na 9 pobranych, przy wahaniach od 0,71 do $11,52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Natomiast zawartość benzo(a)pirenu przewyższa dopuszczalną wartość w większości próbek kilkakrotnie, a w punkcie 16 nawet czterdziestokrotnie, w którym ilość pozostałych WWA oraz ich suma też jest najwyższa (Tab. 11).

Tabela 10. Wartości specyficznej podatności magnetycznej χ oraz zawartość metali ciężkich (ekstrahowanych 2M HNO₃) w próbkach dolomitów pobranych w rejonie Parku im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu

Próbka	χ	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
	$\times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dolomitu								
dolomit - a	6,1	12300	1016	9940	2760	23,9	16,4	4,8	58,8	24,4
dolomit - b	6,2	12400	1084	10060	3440	20,7	16,4	4,8	57,6	26,8
dolomit - c	1,5	2813	80	210	58,5	40,1	24,5	15,5	22,0	17,5

Tabela 11. Zawartość niektórych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w próbkach gleb z Parku im. Edmunda Osmańczyka w Bytomiu

Oznaczany WWA	Nr punktu pobrania próbki									Wart. dop. *	r**
	16	20	34	44	56	58	80	90	95		
	mg·kg ⁻¹ gleby										
Naftalen	0,56	0,03	0,07	0,16	0,19	0,26	0,18	0,20	0,49	0,1	0,53
Acenaften	0,21	0,02	0,01	0,01	0,04	0,05	0,04	0,03	0,08	-	0,54
Fluoren	0,15	0,02	0,02	0,02	0,04	0,06	0,02	0,04	0,11	-	0,46
Fenantren	2,30	0,28	0,17	0,21	0,92	0,87	0,78	0,58	0,92	0,1	0,51
Antracen	0,34	0,03	0,01	0,01	0,18	0,06	0,09	0,05	0,10	0,1	0,51
Fluoranten	3,24	0,23	0,16	0,26	1,42	0,90	0,89	0,65	0,85	0,1	0,54
Piren	1,86	0,13	0,08	0,15	0,74	0,54	0,47	0,03	0,46	-	0,59
Benzo(a)antracen	1,01	0,08	0,05	0,06	0,61	0,24	0,24	0,17	0,28	0,1	0,51
Chryzen	1,42	0,12	0,08	0,11	0,61	0,41	0,41	0,31	0,43	0,1	0,53
Benzo(b)fluoranten	1,36	0,10	0,08	0,12	0,63	0,42	0,40	0,29	0,30	-	0,54
Benzo(k)fluoranten	0,79	0,05	0,04	0,06	0,39	0,21	0,22	0,15	0,17	-	0,53
Benzo(a)piren	1,18	0,08	0,08	0,08	0,67	0,29	0,35	0,19	0,25	0,03	0,53
Benzo(ghi)perylene	0,92	0,06	0,05	0,09	0,42	0,24	0,26	0,19	0,20	0,1	0,53
Dibenzo(ah)antracen	0,29	0,02	0,02	0,03	0,18	0,08	0,09	0,06	0,07	-	0,50
Indeno(1,2,3-cd)piren	1,51	0,09	0,07	0,13	0,72	0,37	0,41	0,29	0,32	-	0,53
Benzo(e)piren	1,53	0,11	0,09	0,12	0,85	0,42	0,41	0,28	0,35	-	0,52
Perylen	0,25	0,01	0,01	0,02	0,17	0,05	0,05	0,02	0,05	-	0,52
Koronen	1,30	0,06	0	0,15	0,65	0,10	0,37	0,31	0,29	-	0,60
Suma 9 WWA	11,75	0,95	0,71	1,03	5,40	3,47	3,41	2,48	3,69	1	0,53

*Wartość dopuszczalna (Dz.U. 2002.165.1359); **Współczynnik korelacji χ /WWA

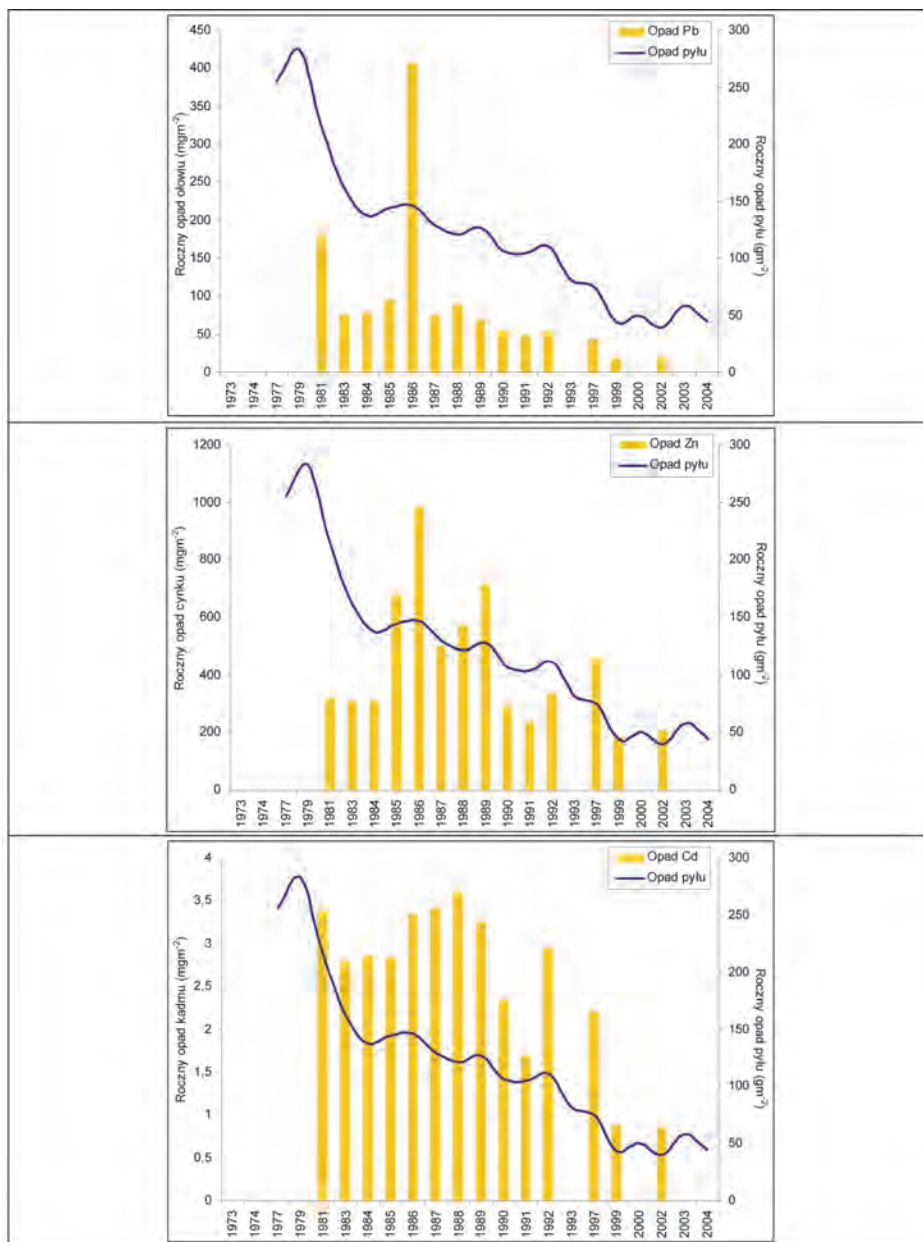
5.4. Lasy Panewnicko-Kochłowskie

Spośród badanych kompleksów parkowo-leśnych Lasy Panewnicko-Kochłowskie są wysunięte najbardziej na południe. Pomimo lokalizacji tego obiektu w pobliżu licznych emitorów zanieczyszczeń pyłowych, opad pyłu na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat był najniższy w porównaniu z pozostałymi parkami. Wartość graniczna opadu pyłu ($200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$) była przekraczana do 1981 roku, w latach następnych sukcesywnie spadała i obecnie utrzymuje się na poziomie poniżej $50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ (Rys. 10). Podobnie kształtowały się wartości opadu ołowiu i cynku, których ekstremalne wartości odnotowano w 1986 roku (roczny opad Pb w jednym z punktów pomiarowych WSSE Katowice osiągnął wartość $1010 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$, przy średniej dla całego obszaru $407 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$, a roczny opad Zn – $1808 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$, przy średniej $984 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$). Natomiast opad kadmu w ostatnich 27 latach wahał się od 0,37 (2002) do $5,39 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ (1988), ale przeważnie mieścił się w zakresie 2–4 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$, a w ostatnich latach nie przekraczał wartości $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$.

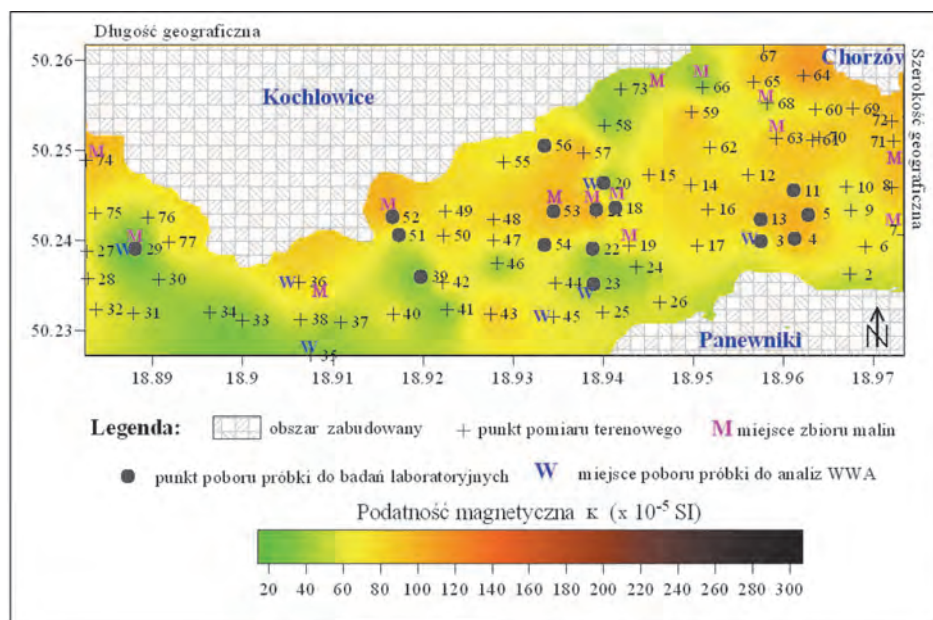
Podatność magnetyczna gleb w Lasach Panewnicko-Kochłowskich waha się od 14,2 do $116,9 \times 10^{-5}$ i jest wyższa niż w Parku Powstańców Śląskich w Zabrze, i w Parku w Bytomiu, jeśli weźmie się pod uwagę jej średnią wartość (lub medianę) na badanych obiektach (Tab. 5). Wyższe wartości podatności magnetycznej κ stwierdzono w części północno-wschodniej badanego obszaru (Kochłowice, Chorzów) w porównaniu z częścią południową (Rys. 11). Na obszar ten mogą napływać zanieczyszczenia z Elektrowni Halemba, hut: Pokój w Rudzie Śląskiej, Batory w Chorzowie, Zgoda w Świętochłowicach, a także z tzw. emisji niskiej z miast i osiedli, otaczających lasy. Nie bez znaczenia jest rodzaj występujących tu drzewostanów (Zał. 3), ich wiek oraz zwarcie koron. Poszczególne gatunki drzew charakteryzują się różnymi właściwościami filtracyjnymi, czyli możliwością zatrzymywania zanieczyszczeń przez korony drzew, a następnie ich spłukiwaniem do gleb. Właściwości te uzależnione są od wielkości powierzchni właściwej korony i charakteryzuje się je za pomocą tzw. indeksu liściowego, który wyraża powierzchnię liści/szpilek (w ha) przypadającą na 1 ha danego drzewostanu, np. powierzchnia szpilek 1 ha 25-letniego drzewostanu świerkowego zajmuje obszar 10,2 ha, natomiast 65-letniego – 13,7 ha, a prawie 100-letniego – 16,5 ha.

Jakość gleb, podobnie jak gleb parku w Zabrze, nie jest dobra ze względu na kwaśny odczyn (z wyjątkiem jednej próbki). Dodatkowo, gleby tego obiektu charakteryzują się najwyższymi wartościami przewodnictwa właściwego, osiągającego w punkcie 39 wartość $2210 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Zawartość metali ciężkich w próbkach glebowych z tego parku, określona w 2M HNO_3 jest zróżnicowana (Tab. 12). Wskazuje to na silny wpływ emisji przemysłowych, a głównie pyłów opadających na przestrzeni ostatnich 50 lat, różniących się nie tylko ilością, ale i składem chemicznym w poszczególnych punktach badanego obszaru.



Rysunek 10. Opad pyłu i niektórych metali ciężkich na terenie Lasów Panewnicko-Kochłowskiich [63]



Rysunek 11. Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na terenie Lasów Panewnicko-Kochłowskich

Zawartość ołowiu we wszystkich przypadkach przekracza wartość graniczną, w kilku punktach nawet 10–15 razy. Natomiast zawartość cynku tylko w dwóch próbkach mieści się w normie ($< 150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Tab. 1). Jeśli oceniać badane gleby wg liczb granicznych, to zawartość kadmu (pierwiastka najbardziej toksycznego), $0,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ przekroczone jest we wszystkich próbkach.

Na podstawie wcześniejszych badań wysokie zawartości cynku i ołowiu stwierdzono również w glebach leśnych Nadleśnictwa Katowice, ale zdecydowanie mniejsza była zawartość kadmu w tych glebach [52, 65].

Podobnie jak w przypadku gleb parku w Zabrzu wysokie są współczynniki korelacji pomiędzy specyficzną podatnością magnetyczną a zawartością poszczególnych metali ciężkich, zwłaszcza ołowiu. Wartości współczynnika zmienności podatności magnetycznej χ , jak i metali ciężkich w badanych glebach są podobne (Tab. 12).

Tabela 12. Wartości specyficznej podatności magnetycznej gleb χ , zawartość metali ciężkich oraz wartości współczynników zmienności i korelacji w próbkach gleb z Lasów Panewnicko-Kochłowskich

Nr*	χ	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
	$\times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby								
3	187,7	6860	1248	172	131	2,92	14,0	11,2	7,2	3,6
4	1036,8	9360	728	208	796	5,04	56,0	11,2	10,4	6,4
5	528,7	8920	604	316	520	7,44	34,0	7,6	12,4	6,0
11	759,7	12600	1800	688	680	12,12	52,8	10,8	16,8	14,0
13	292,4	17100	484	272	504	4,68	38,4	7,2	16,8	6,4
18	120,9	4180	468	168	102	2,28	10,4	3,6	4,4	2,8
20	139,3	5240	480	168	72	2,32	11,6	4,0	4,8	4,0
21	845,6	8140	244	152	684	3,40	46,8	10,4	9,2	4,4
22	123,3	3160	150	88	63	1,32	7,6	3,6	4,8	2,4
23	332,6	3480	126	152	220	2,44	24,4	10,4	5,6	1,6
29	104,8	4360	416	328	120	5,80	14,0	4,0	6,4	2,8
39	329,2	2980	1104	236	220	4,68	18,8	4,4	6,0	3,2
51	791,4	6980	158	144	484	3,16	38,4	10,0	8,0	3,2
52	352,8	8300	956	292	372	6,20	25,2	8,0	8,4	4,8
53	689,2	14060	448	308	568	4,32	39,2	8,4	9,6	4,8
54	441,2	4440	1312	224	324	4,04	26,4	6,0	6,4	3,6
56	323,4	4200	285	160	240	3,28	18,0	5,6	5,6	2,8
średnia	435,2	7315	648	240	359	4,44	28,0	7,4	8,4	4,5
V**	66,8	56,1	74,0	56,4	66,3	57,1	54,5	38,7	45,7	62,3
współ. korelacji χ /metal		0,46	0,12	0,27	0,93	0,39	0,93	0,71	0,49	0,49
poziom ufności p***		0,07	0,65	0,30	0	0,13	0	0	0,04	0,05
dopuszczalna zawartość [5]		-	-	150	50	0,8	40	50	50	-

*numer punktu pobrania próbki glebowej; **współczynnik zmienności (%); ***współczynniki korelacji są istotne przy $p < 0,05$

Tabela 13. Zawartość niektórych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w próbkach gleb z Lasów Panewnicko-Kochłowskich

Oznaczany WWA	Nr punktu pobrania próbki									Wart. dop.*	r**
	3	20	23	29	35	36	45	78	79		
	mg·kg ⁻¹ gleby										
Naftalen	0,02	0,16	0,39	0,47	0,07	0,45	0,51	0,27	0,24	0,1	-0,12
Acenaften	0,01	0,02	0,09	0,07	0,01	0,05	0,07	0,06	0,04	-	-0,05
Fluoren	0,02	0,04	0,10	0,07	0,01	0,07	0,09	0,06	0,03	-	-0,13
Fenantren	0,24	0,37	1,17	0,89	0,71	0,67	1,23	0,83	0,51	0,1	-0,19
Antracen	0,03	0,03	0,14	0,09	0,03	0,07	0,07	0,09	0,07	0,1	-0,05
Fluoranten	0,33	0,30	1,70	0,97	0,71	0,85	1,17	0,91	0,69	0,1	-0,15

Oznaczany WWA	Nr punktu pobrania próbki									Wart. dop.*	r**
	3	20	23	29	35	36	45	78	79		
	mg·kg ⁻¹ gleby										
Piren	0,20	0,16	0,98	0,53	0,55	0,50	0,79	0,50	0,38	-	-0,19
Benzo(a)antracen	0,15	0,09	0,44	0,25	0,23	0,25	0,33	0,15	0,24	0,1	-0,13
Chryzen	0,22	0,19	0,79	0,51	0,40	0,40	0,57	0,29	0,38	0,1	-0,19
Benzo(b)fluoranten	0,23	0,15	0,65	0,41	0,32	0,38	0,53	0,51	0,37	-	0,02
Benzo(k)fluoranten	0,12	0,07	0,26	0,17	0,18	0,19	0,25	0,22	0,18	-	0,01
Benzo(a)piren	0,19	0,08	0,47	0,26	0,26	0,27	0,29	0,36	0,28	0,03	0,06
Benzo(ghi)perylene	0,17	0,08	0,46	0,26	0,22	0,25	0,29	0,26	0,22	0,1	0,01
Dibenzo(ah)antracen	0,05	0,03	0,30	0,08	0,07	0,07	0,09	0,08	0,06	-	-0,15
Indeno(1,2,3-cd)piren	0,21	0,13	0,69	0,37	0,39	0,39	0,42	0,41	0,29	-	-0,10
Benzo(e)piren	0,27	0,14	0,82	0,46	0,39	0,41	0,48	0,49	0,38	-	-0,02
Perylen	0,03	0,02	0,15	0,04	0,03	0,06	0,09	0,18	0,04	-	0,09
Koronen	0,24	n.o.	0,60	0,40	0,38	0,37	0,47	0,22	0,35	-	-0,65
Suma 9 WWA	1,45	1,37	5,81	3,86	2,80	3,40	4,74	3,70	2,81	1	-0,12

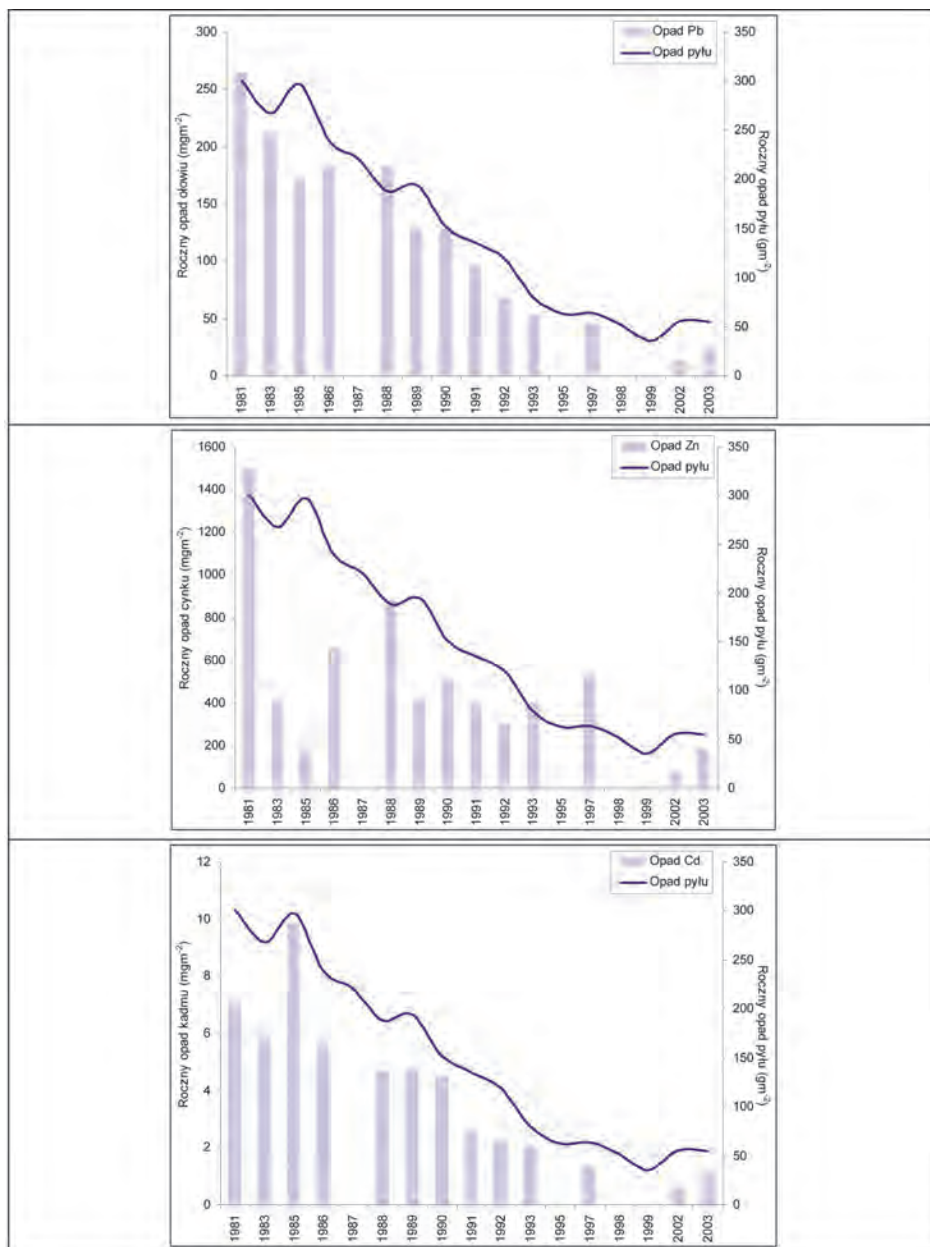
*Wartość dopuszczalna (Dz.U. 2002.165.1359); **Współczynnik korelacji χ /WWA

Suma zawartości 9 WWA waha się od 1,37 do 5,81 mg·kg⁻¹ i przekracza dopuszczalną wartość we wszystkich próbkach (Tab. 13). Zjawiska takiego nie obserwowano w glebach parków z Zabrza i Bytomia. Zawartość dopuszczalna benzo(a)pirenu we wszystkich próbkach również jest przekroczona, często kilkadziesiąt razy.

5. 5. Wojewódzki Park Kultury i Wypoczynku

W porównaniu z poprzednimi obiektami WPKiW znajduje się we wschodniej części GOP, co, uwzględniając kierunki przeważających wiatrów (W i SW) oraz lokalne źródła emisji (była Huta Kościuszko w Chorzowie, Huta Jedność w Siemianowicach Śl., huta cynku i ołowiu w Katowicach-Wełnowcu), a także bliskość takich miast jak Katowice, Chorzów, Siemianowice Śl., z przeważającą niską emisją, powinno znaleźć odzwierciedlenie w podatności magnetycznej i zawartości metali ciężkich. Tezę tę potwierdziły wyniki badań. Obszar parku, ze względu na zagospodarowanie i częste zabiegi agrotechniczne różni się od pozostałych obiektów. Występująca roślinność nie zawsze jest typowo leśna, spotyka się często różne gatunki drzew i krzewów ozdobnych, a znaczną powierzchnię zajmują trawniki i alejki.

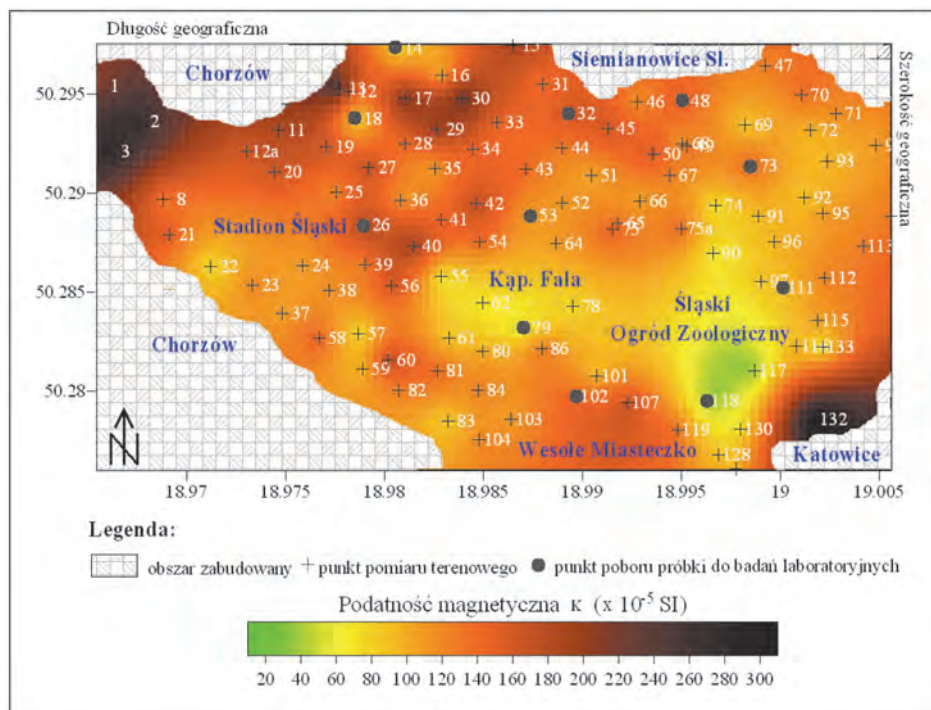
Opad pyłu mierzony w latach 1955/56, a następnie od 1981 do 2003 roku wahał się od 32 (1999) do 3650 g·m⁻²·rok⁻¹ (1955/56). Podobnie jak na innych obiektach, jego wartość spadła do 100 g·m⁻²·rok⁻¹ dopiero w 1992 roku. Opad ołowiu do 1990 roku przekraczał wartości dopuszczalne, a kadmu utrzymywał się na poziomie poniżej 10 mg·m⁻²·rok⁻¹ (Rys. 12).



Rysunek 12. Opad pyłu i niektórych metali ciężkich na terenie Wojewódzkiego Parku Kultury i Wypoczynku [63]

Podatność magnetyczna κ zmierzona w terenie była bardzo zróżnicowana i wahała się od 41,3 do $310,5 \times 10^{-5}$, przy czym wartości powyżej 100×10^{-5} stwierdzono na $\frac{2}{3}$ powierzchni (Tab. 5, Zał. 4). Wysokie wartości podatności magnetycznej κ występują na prawie całym obszarze parku (Rys. 13), a szczególnie w jego zachodniej części (gdzie uwidacznia się wpływ byłej Huty Kościuszkowski i Huty Jedność), a także w części południowo-wschodniej, graniczącej z obszarem Katowic.

Odczyn w niektórych punktach, w porównaniu z wcześniej omawianymi obiektami jest wyraźnie zróżnicowany. Poza jednym punktem, charakteryzują-



Rysunek 13. Mapa rozkładu objętościowej podatności magnetycznej κ gleb na terenie Wojewódzkiego Parku Kultury i Wypoczynku w Chorzowie

cym się bardzo kwaśnym odczynem gleby, pozostałe wykazują odczyn kwaśny, lekko kwaśny, a nawet zasadowy (Tab. 6). Z ekologicznego punktu widzenia taka sytuacja jest korzystna.

Tabela 14. Wartości specyficznej podatności magnetycznej gleb χ , zawartość metali ciężkich oraz wartości współczynników zmienności i korelacji w próbkach glebowych z Wojewódzkiego Parku Kultury i Wypoczynku

Nr*	χ	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
	$\times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby								
14	320,5	6260	460	960	372	12,68	24,8	4,0	7,2	4,8
18	245,7	7240	272	336	95	5,88	12,8	4,0	4,8	3,6
26	399,4	5400	396	804	208	13,44	19,6	5,6	4,8	3,2
32	288,5	5180	335	608	173	9,60	22,4	6,0	6,0	2,8
48	549,7	6280	312	804	424	11,88	26,4	5,2	6,0	3,2
53	608,5	6300	436	1120	388	16,36	29,6	6,0	6,4	4,4
73	350,5	5860	476	860	280	11,28	21,2	4,4	5,2	4,4
79	320,3	5640	362	620	248	7,80	26,8	3,2	6,8	4,4
102	180,4	6260	428	452	138	5,80	12,4	3,2	6,0	4,0
111	231,6	5300	311	516	184	7,56	14,8	3,2	5,2	3,2
118	309,3	6220	644	1060	308	14,92	24,8	5,6	7,6	3,6
średnia	345,9	5995	403	740	256	10,65	21,4	4,6	6,0	3,8
V**	37,7	10,0	25,9	34,3	42,1	33,8	27,5	24,8	15,8	17,3
współczynnik korelacji χ /metal		0,07	0,03	0,68	0,78	0,74	0,75	0,63	0,11	0,10
poziom ufności p***		0,83	0,93	0,02	0	0,01	0,01	0,04	0,74	0,77
dopuszczalna zawartość [5]		-	-	150	50	0,8	40	50	50	-

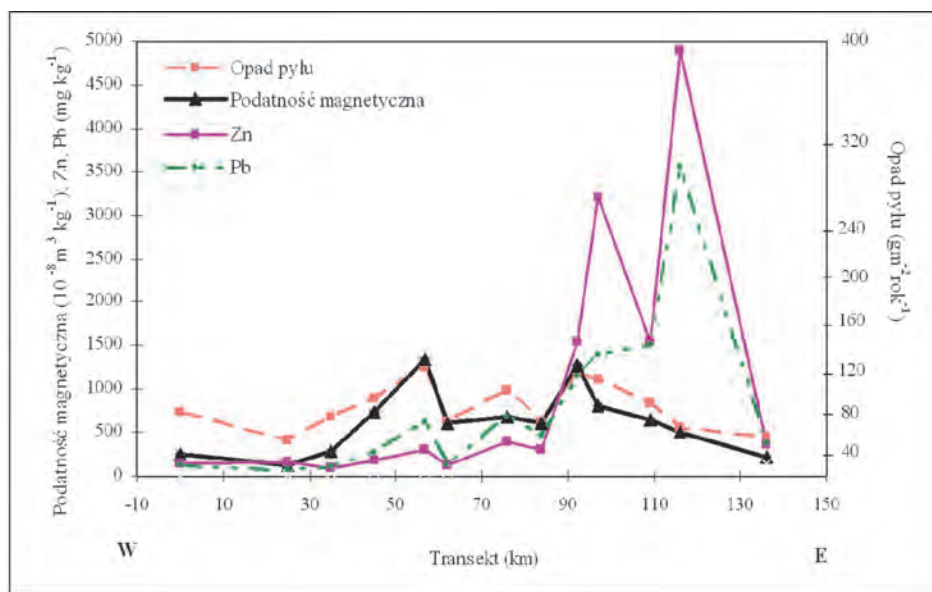
*numer punktu pobrania próbki glebowej; **współczynnik zmienności (%); ***współczynniki korelacji są istotne przy $p < 0,05$

Również wartości przewodnictwa właściwego są dużo niższe w porównaniu z pozostałymi parkami i wahają się od 68,6 do 254 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (w jednym punkcie wartość jest ekstremalna: 1137 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$).

Zawartość metali ciężkich w glebach tego obiektu jest bardzo wysoka, a liczby graniczne dla cynku, ołowiu i kadmu są wielokrotnie przekroczone we wszystkich punktach pomiarowych. Wśród metali ciężkich dominuje cynk, przy wahaniach zawartości od 336 do 1120 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ołów 95–424 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ oraz kadm 5,80 do 16,36 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Wysokie są współczynniki korelacji pomiędzy podatnością magnetyczną a zawartością takich metali ciężkich jak cynk, ołów, kadm i miedź, a więc metali towarzyszących procesom hutnictwa żelaza i metali kolorowych (Tab.14).

5.6. Transekt Rudy Raciborskie – Olkusz

Podatność magnetyczna χ próbek z transektu jest bardzo wysoka i waha się od ok. 140 do ponad $1000 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Najwyższe wartości obserwuje się w centralnej części transektu – od okolic Knuruwa (ok. 60 km od początku transektu), gdzie uwidacznia się wpływ emisji z Elektrowni Łaziska, do rejonu Chrzanowa (ok. 100 km od początku transektu) (Rys. 14), gdzie poważnym emitorem pyłowych zanieczyszczeń powietrza był Zespół Elektrowni Jaworzno (aktualnie ze względu na wysokiej skuteczności instalacje oczyszczające emisja ta jest stosunkowo niska). Najniższe wartości χ odnotowano w rejonie Rud Raciborskich,



Rysunek 14. Specyficzna podatność magnetyczna χ , całkowity opad pyłu oraz zawartość Pb i Zn w transekcie Rudy Raciborskie – Olkusz

a nieco wyższe – ok. $200 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ w okolicy Olkusza i Bolesławia, gdzie zawartości Pb i Zn osiągają wartości ekstremalne spowodowane m.in. wpływem procesów flotacji i hutnictwa rud cynku i ołowiu w tym rejonie (Rys. 14). Przebieg opadu pyłu na wykresie wykazuje zbliżoną tendencję jak przebieg specyficznej podatności magnetycznej. Świadczy to o wpływie technogennych emisji pyłowych na stopień zanieczyszczenia gleby.

Stwierdzono wysokie współczynniki korelacji między podatnością χ a zawartością Zn i Pb próbek gleb transektu, ale tylko z obszaru od Rud Raciborskich do Jaworzna: dla Pb 0,83, a dla Zn 0,63. W rejonie Olkusza ze względu na występowanie dolomitów kruszczonośnych w podłożu geologicznym (zawierających rudy cynku i ołowiu) zależności takiej nie ma.

6. Zawartość niektórych metali ciężkich w grzybach i owocach malin

Zarówno grzyby, jak i maliny nie występowały na wszystkich obiektach badań, stąd przy ich wyborze brano pod uwagę również tereny sąsiadujące. Uzyskane wyniki porównywano z zawartością metali ciężkich w suszonych grzybach zakupionych w zabrzańskich sklepach oraz z terenów, na których pyłowe zanieczyszczenie powietrza jest na niskim poziomie. Przy ocenie posłużono się również danymi literaturowymi, dotyczącymi zawartości niektórych metali ciężkich w grzybach z różnych rejonów Polski [1, 3, 24, 25]. Z tych danych wiadomo, że poszczególne gatunki grzybów mają różną zdolność pobierania metali ciężkich z podłoża, jak również to, że wiele gatunków grzybów jest w stanie nagromadzić w owocnikach wiele pierwiastków metalicznych w stężeniach znacznie przekraczających ich zawartość w podłożu, na którym wyrosły [1, 31]. Zawartości metali różnią się w zależności od gatunku grzyba, przy czym kapelusze, w porównaniu z trzonami, charakteryzują się na ogół wyższymi zawartościami metali ciężkich.

W przypadku badanych próbek grzybów więcej metali ciężkich jest w kapeluszach koźlarza babki (*Leccinum scabrum*) niż w kapeluszach podgrzybka brunatnego (*Xerocomus badius*), czy krowiaka podwiniętego (*Paxillus involutus*). Można to powiązać z faktem, że większy kapelusz zatrzymuje więcej technogennych pyłów, m.in. pyłów aerozolowych (o średnicach ziaren $< 10 \mu\text{m}$).

Od 2006 roku obowiązuje w Polsce Rozporządzenie Komisji Wspólnot Europejskich (KWE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. [36] ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. Z metali ciężkich uwzględniono tylko poziom ołowiu, kadmu, rtęci i cyny (Sekcja 3: Metale). „Aby najwyższe dopuszczalne poziomy mogły mieć zastosowanie do suszonych, rozcieńczonych, przetworzonych lub złożonych środków spożywczych, w przypadku, gdy na szczeblu wspólnotowym nie ma ustalonych najwyższych dopuszczalnych poziomów”, wartości te odnoszą się do świeżej masy środków spożywczych (Dz. Urz. UE 2006.L364/5). Dla grzybów dopuszczalny poziom ołowiu określono na $0,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a kadmu na $0,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy. W badanych grzybach dopuszczalny poziom ołowiu został przekroczony w ponad 70% próbek, a kadmu w ponad 60% (Tab. 15).

Przed 2006 rokiem obowiązywało Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 grudnia 2000 r. w sprawie wykazu dopuszczalnych ilości substancji dodatkowych i innych substancji obcych dodawanych do środków spożywczych lub używek, a także zanieczyszczeń, które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub używkach [39]. Określono w nim dopuszczalną ilość cynku, ołowiu i kadmu zarówno w świeżej, jak i suchej masie grzybów. Biorąc pod uwagę świeżą masę, dopuszczalna zawartość cynku ($25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) została przekroczona tylko w 3 próbkach kapeluszy koźlarza babki (*Leccinum scabrum*). Dopuszczalna zawartość ołowiu podana w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia [39] jest nieco wyższa

Tabela 15. Zawartość metali ciężkich w świeżej masie grzybów leśnych

Miejsce i czas zbioru	Gatunek grzybów	Część grzyba*	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
			mg·kg ⁻¹ świeżej masy grzybów								
Park im. E. Osmańczyka sierpień 2006	podgrzybek brunatny ¹	k	10,4	1,0	21,3	0,7	0,9	6,4	0,1	0,4	0,2
		k	28,8	1,7	24,4	0,7	1,3	4,5	0,1	0,3	0
		t	38,9	1,7	17,1	0,5	0,4	2,8	0,1	0,3	0,2
	koźlarz babka ²	k	14,0	2,2	36,7	1,1	0,7	3,5	0,1	0,4	0,3
		t	5,8	1,3	14,0	0,5	0,1	1,7	0,1	0,2	0,1
	koźlarz babka ²	k	13,6	1,5	37,6	2,3	1,7	5,5	0	0,5	0
		t	12,6	1,3	22,7	0,8	1,2	3,3	0,1	0,8	0,1
Park Powst. Śl. Zabrze wrzesień 2006	podgrzybki ¹ , opieńki ³	k	12,7	1,5	16,8	1,0	2,5	11,6	0,1	0,4	0,1
IPIŚ PAN Zabrze wrzesień 2006	koźlarz babka ² i czerwony ⁴	k	9,2	0,9	26,0	0,8	0,4	5,3	0,1	0,6	0,2
		t	5,0	0,6	10,0	0,3	0,1	1,5	0,1	0,3	0
Produkt han- dlowy	podgrzybek brunatny ¹	k	11,4	1,5	15,4	0,6	0,2	4,5	0,1	0,1	0
	koźlarz ⁴ czerwony	k	10,8	1,8	24,6	0	0,2	3,0	0	0,3	0,2
		t	6,8	2,0	9,3	0	0,1	1,2	0,1	0,1	0
Pasieki-Mia- steczko Śl. sierpień 2006	podgrzybek brunatny ¹	k	7,1	0,7	16,5	0,9	2,6	2,8	0,1	0,3	0
Stare Tarnowice (Brynek) wrzesień 2006	podgrzybek	k	13,7	1,7	24,1	0,6	0,8	5,5	0,1	0,1	0
	brunatny ¹	t	4,3	2,5	13,9	0,6	0,2	2,0	0	0,6	0
Dopuszczalna zawartość [36]			-	-	-	0,3	0,2	-	-	-	-
Dopuszczalna zawartość [39]			-	-	25,0	0,5	0,15	-	-	-	-

* - analizowana część grzyba; k oznacza kapelusze grzybów, t – trzony grzybów; ¹ *Xerocomus badius*, ² *Leccinum scabrum*, ³ *Armillariella mellea*, ⁴ *Leccinum aurantiacum*, ⁵ *Suillus luteus*, ⁶ *Suillus bovinus*, ⁷ *Boletus edulis*, ⁸ *Xerocomus subtomentosus*

niż w Rozporządzeniu KWE [36] i wynosi $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, dlatego też większa ilość próbek (50%) spełnia obowiązujące wymogi. Odwrotna sytuacja ma miejsce

w przypadku kadmu, którego dopuszczalna ilość w grzybach jest niższa ($0,15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) i automatycznie więcej próbek, bo prawie 80% charakteryzuje się wyższą zawartością Cd ($> 0,15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Tab. 15).

Jeśli weźmie się pod uwagę zawartość metali ciężkich w suchej masie grzybów (s.m.), to ich dopuszczalne ilości określone są tylko w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia [39] i wynoszą dla cynku 150, ołowiu 2 i kadmu $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy. Spośród 32 próbek grzybów tylko 4 nie są zanieczyszczone metalami. W pozostałych próbkach zawartość przynajmniej jednego z metali (Zn, Pb lub Cd) przekracza wartość dopuszczalną dla tego typu produktów spożywczych. Znamiennym jest fakt, że $\frac{1}{3}$ badanych grzybów (zwłaszcza zebranych w Parku im. E. Osmańczyka) nie powinna być dopuszczona do spożycia ze względu na ich zanieczyszczenie i przekroczenie dopuszczalnych zawartości tych metali ciężkich. Przekroczenie $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. zawartości ołowiu i $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. zawartości kadmu dotyczy prawie wszystkich kapeluszy na badanych obiektach. W przypadku trzonów sytuacja jest nieco lepsza, gdyż zawierają one mniejsze zawartości tych metali (Tab. 16). Znaczną ilość ołowiu stwierdzono w grzybach pobranych na terenie Nadleśnictwa Brynek w rejonie Stolarzowic, ale ma to związek z podłożem bogatym w te metale. Zawartość kadmu w grzybach jest bardzo wysoka w rejonie Stolarzowic, w Zabrze oraz w pobliżu Miasteczka Śląskiego, gdzie, jak wspomniano wcześniej, mieści się huta cynku i ołowiu. W porównaniu z zawartością kadmu i innych metali w grzybach z Kielecczyny (grzyby stanowiące produkt handlowy) wartości stwierdzone w lasach GOP oraz na terenach otaczających wskazują na wpływ czynników technogennych. Dużo niższe, ale w kilku przypadkach przekraczające normę, wyniki zawartości ołowiu uzyskała Krełowska-Kułas i in. [24], badając podgrzybki brunatne i borowiki szlachetne z byłego woj. krakowskiego i bielsko-bialskiego. Porównywalne z prezentowanymi wynikami zawartości cynku i ołowiu uzyskał Lipka i in. [25] w owocnikach grzybów z różnych rejonów kraju, ale zawartość miedzi i manganu była wyższa i maksymalnie wynosiła, np. dla borowika szlachetnego odpowiednio: 110 i $51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., a dla podgrzybka brunatnego: 94 i $33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.

Większość badanych metali ciężkich charakteryzuje się większą akumulacją w kapeluszach grzybów, ale w kilku przypadkach obserwuje się wyższą zawartość żelaza, a zwłaszcza manganu w trzonach niż w kapeluszach.

Oceniając zebrane owoce malin, posłużono się Rozporządzeniem KWE [36], które określa dopuszczalny poziom zawartości niektórych metali w jagodach i małych owocach. Wynosi on dla ołowiu $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a dla kadmu zaledwie $0,05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Stąd zebrane owoce malin uznać należy za bardzo zanieczyszczone, ponieważ dopuszczalna zawartość ołowiu tylko w dwóch próbkach spełnia warunki Rozporządzenia KWE [36], a ilość kadmu jest przekroczona przynajmniej dwukrotnie we wszystkich próbkach, zarówno w suchej, jak w świeżej masie owoców (Tab. 17, 18). Przeciętna zawartość metali w owocach malin określona przez Kabatę-Pendias [19] jest również wielokrotnie niższa niż stwierdzona na

Tabela 16. Zawartość metali ciężkich w suchej masie grzybów leśnych

Miejsce i czas zbioru	Gatunek grzybów	Część grzyba*	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
			mg·kg ⁻¹ suchej masy grzybów								
Park im. E. Osmańczyka sierpień 2006	podgrzybek brunatny ¹	k	75	7,0	152	5,2	6,4	45,4	0,8	2,8	1,2
		k	206	11,8	174	5,0	9,2	31,8	0,8	2,4	≤ 0,2
		t	278	12,2	122	3,6	2,9	19,8	0,8	1,8	1,2
	koźlarz babka ²	k	100	15,4	262	8,2	4,8	25,2	1,0	2,8	1,8
		t	41	9,2	100	3,4	0,7	11,8	0,6	1,4	1,0
	koźlarz babka ²	k	97	10,7	269	16,2	11,8	39,4	≤ 0,2	3,7	≤ 0,2
		t	90	9,4	162	5,4	8,7	23,8	0,8	5,6	1,0
Park Powst. Śl. Zabrze wrzesień 2006	podgrzybki ¹ , opieńki ³	k	90	10,8	120	6,8	17,9	82,6	1,0	3,2	1,0
IPIS PAN Zabrze wrzesień 2006	koźlarz babka ² i czerwony ⁴	k	65	6,4	186	5,8	2,7	38,0	0,8	4,2	1,2
		t	36	4,2	71	2,0	0,5	10,6	1,0	2,4	≤ 0,2
Produkt han- dlowy	podgrzybek brunatny ¹	k	81	10,8	110	4,6	1,3	32,0	0,8	0,8	< 0,2
	koźlarz czerwony ⁴	k	77	13,0	176	≤ 0,2	1,6	21,2	≤ 0,2	2,0	1,2
		t	48	14,2	66	≤ 0,2	0,5	8,6	1,0	1,0	≤ 0,2
Pasieki-Mia- steczko Śl. sierpień 2006	podgrzybek brunatny ¹	k	51	5,0	118	6,2	18,7	19,9	0,8	2,0	≤ 0,2
Stare Tarnowi- ce (Brynek) wrzesień 2006	podgrzybek brunatny ¹	k	98	12,4	172	4,6	5,8	39,6	0,8	0,6	≤ 0,2
		t	31	18,2	99	4,2	1,7	14,2	≤ 0,2	4,2	≤ 0,2
Dopuszczalna zawartość [39]			-	-	150	2,0	1,0	-	-	-	-

* - analizowana część grzyba; k oznacza kapelusze grzybów, t – trzony grzybów; ¹ *Xerocomus badius*, ² *Leccinum scabrum*, ³ *Armillariella mellea*, ⁴ *Leccinum aurantiacum*, ⁵ *Suillus luteus*, ⁶ *Suillus bovinus*, ⁷ *Boletus edulis*, ⁸ *Xerocomus subtomentosus*

terenie badanych parków i przykładowo wynosi: Pb: 0,05-0,2; Zn: 1,3-5,0; Cd: 0,003-0,021; Cu: 0,4-0,8 ppm świeżej masy. Ze względu na bardzo wysoki poziom zanieczyszczenia owoców metalami ciężkimi nie jest wskazane ani ich zbieranie na terenie badanych obiektów, ani spożywanie.

Tabela 17. Zawartość metali ciężkich w świeżej masie owoców maliny właściwej (*Rubus idaeus* L.) zebranych w lipcu 2006 roku

Miejsce poboru próby	Nr/nazwa próbki	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
		mg·kg ⁻¹ świeżej masy malin								
Lasy Panewnicko-Kochłowskie	1	14,0	3,9	11,6	0,7	0,2	3,2	0,1	0,1	0,1
	2	10,5	11,8	11,5	0,6	0,3	2,2	0	0,6	0,1
	3	12,7	15,9	10,3	0,7	0,1	2,2	0,1	1,5	0,2
	4	12,2	21,0	10,7	0	0,1	1,8	0,1	1,0	0,2
Park im. E. Osmańczyka	5	20,6	8,8	13,2	0,9	0,3	2,9	0,1	0,6	0,2
	6	13,6	32,1	13,2	0	0,3	2,7	0	1,0	0,2
	7	13,4	6,3	12,4	0,7	0,2	2,5	0,1	0,1	0,1
Stolarzowice (Nadl. Brynek)	leśne z ogródka	20,1	8,6	7,7	1,1	0,1	1,5	0,1	0,4	0,2
	maliny ogrodowe	16,0	10,9	9,0	0,7	0,1	1,8	0	0,4	0,1
Dopuszczalna zawartość [36]		-	-	-	0,2	0,05	-	-	-	-
Dopuszczalna zawartość [39]		-	-	10,0	0,2	0,03	-	-	-	-

Tabela 18. Zawartość metali ciężkich w suchej masie owoców maliny właściwej (*Rubus idaeus* L.) zebranych w lipcu 2006 roku

Miejsce poboru próby	Nr/nazwa próbki	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co
		mg·kg ⁻¹ suchej masy malin								
Lasy Panewnicko-Kochłowskie	1	40,0	11,2	33,0	1,9	0,48	9,0	0,4	0,4	0,3
	2	30,0	33,6	32,8	1,7	0,76	6,3	≤ 0,1	1,7	0,2
	3	36,2	45,4	29,3	2,1	0,42	6,2	0,4	4,3	0,7
	4	34,8	60,1	30,5	≤ 0,1	0,37	5,0	0,3	2,8	0,6
Park im. E. Osmańczyka	5	58,8	25,1	37,7	2,6	0,77	8,2	0,3	1,7	0,6
	6	38,9	91,7	37,7	≤ 0,1	0,72	7,7	≤ 0,1	2,9	0,6
	7	38,3	17,9	35,4	2,0	0,68	7,2	0,4	0,4	0,4
Stolarzowice (Nadl. Brynek)	leśne z ogródka	57,3	24,6	21,9	3,2	0,26	4,4	0,4	1,1	0,6
	maliny ogrodowe	45,8	31,2	25,8	1,9	0,22	5,2	≤ 0,1	1,0	0,4
Dopuszczalna zawartość [39]		-	-	20,0	0,5	0,2	-	-	-	-

7. Opracowanie wytycznych bezpiecznego wykorzystania terenów zanieczyszczonych do celów rekreacyjnych oraz planów dalszego ich zagospodarowania

Z wcześniejszych badań własnych gleb leśnych województwa śląskiego wynika, że zawartość w nich metali ciężkich jest wysoka [30, 57]. Dotyczy to szczególnie gleb leśnych na obszarze GOP, gdzie występuje zarówno anomalia magnetyczna, jak i geochemiczna. Ich przyczyną są znaczne emisje pyłów przemysłowych różnego pochodzenia, głównie metalurgia żelaza i metali nieżelaznych, przemysł odlewniczy, energetyka i tzw. niska emisja, przemysł koksochemiczny, cementowy i ceramiczny, transport szynowy i kołowy. Na terenach tych już w latach 1955-57, przy opadzie pyłu od $1-50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ zawartość tzw. technogennych metali ciężkich w warstwie do 20 cm gleb GOP wahała się następująco: Zn $300-1500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i Pb $250-743 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [2].

Również w warstwach leżących niżej zawartość ołowiu przekraczała wartość $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, czyli zanieczyszczenie dotyczyło nie tylko tzw. warstwy ornej, ale sięgało znacznie niżej, stanowiąc zagrożenie dla wód gruntowych i tworząc technogenną anomalię geochemiczną. Możliwość naprawy takich gleb uprawnych praktycznie nie istnieje, gdyż większość metali, a zwłaszcza ołów nie ulega w glebie rozkładowi i wymywaniu poza skałę macierzystą gleb. Ich unieruchomieniu przed pobieraniem przez rośliny może pomóc utrzymywanie odpowiedniego odczynu ($\text{pH} > 7,0$) poprzez systematyczne wapnowanie. Ze względów technicznych nie dotyczy to gleb leśnych, z reguły bardzo kwaśnych ($\text{pH}_{\text{KC}} < 4,5$), a nagromadzenie metali ciężkich następuje w poziomie O/Ah, a więc w zasięgu systemu korzeniowego roślinności runa (borówka czarna) oraz grzybów. Kwaśny odczyn sprzyja pobieraniu tych metali, na co wskazują przeprowadzone badania. Istnieje więc ekologiczne zagrożenie w układzie gleba-roślina-zwierzę-człowiek, dlatego miejsca takie powinny być oznaczone poprzez zamieszczenie tablic ostrzegawczych. Natomiast badania takich obszarów powinny być prowadzone pod kątem wynoszenia przez drzewostany metali znajdujących się w glebie. Do nowych zalesień powinny być wybrane gatunki posiadające zdolność pobierania

znacznych ilości metali ciężkich, a opad biologiczny (w tym ściółka leśna) usuwany wraz z wycinką drzew. Można również rozważać możliwość przykrywania takich terenów 2-5 m warstwą odpadów górniczych, zawierających zdecydowanie mniej metali ciężkich, a następnie przeprowadzenie ich leśnej rekultywacji. Taki sposób sprawdził się już w woj. śląskim (rejon Bytomia-Brzezinki), gdzie 2–5 m warstwę odpadów po flotacji cynku i ołowiu (o zawartości Zn 3,5%, Pb 1,5% i Cd $> 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) przykrywa się odpadami górnictwa węgla kamiennego, a następnie przeprowadza się ich leśną rekultywację z wykorzystaniem różnych klonów topoli przeznaczanych na biopaliwa.

Zagadnienia te powinny być uwzględniane w planach przestrzennego zagospodarowania miast w GOP.

8. Opracowanie zasad stałego monitoringu badanych obszarów opartego na magnetometrii jako metodzie wstępnego rozpoznania terenu

Pomimo faktu, że w ostatnich latach depozycje pyłów przemysłowo-miejских i związanych z nimi zanieczyszczeń nieorganicznych i organicznych uległy znacznemu zmniejszeniu, to z przeprowadzonych badań wynika, że ich ilości zdeponowane do chwili obecnej w glebie, na niektórych obszarach lasów i parków miejskich w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym są stosunkowo wysokie. W drugiej połowie XX w. opad pyłów w większości miast GOP przekraczał dopuszczalne normy, a przeszło 150-letnie oddziaływanie emisji przemysłowych jest główną przyczyną stanu obecnego. Wg danych literaturowych [2], opad pyłu w miastach GOP w latach 1955/56 był następujący (w $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\text{ rok}^{-1}$): Gliwice 135–2384; Zabrze 4303–4676; Ruda Śląska 992–1335; Bytom 1586–3621; Chorzów 845–88303; Katowice 1199–10495; Sosnowiec, Czeladź, Będzin 338–605 i Dąbrowa Górnicza 760–941.

Pomiary opadu pyłu były prowadzone przez Wojewódzką Stację Sanitarno-Epidemiologiczną w Katowicach od 1970 roku, a opadu metali ciężkich od 1981 roku. Wykazały one przekroczenia wartości dopuszczalnych ($200\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\text{ rok}^{-1}$) w rejonie Zabrze do roku 1991, w Lasach Kochłowskich do 1986, w rejonie WPKiW do 1989 oraz w Bytomiu do 1993 [63].

W przypadku metali ciężkich dopuszczalne wartości opadu pyłu dotyczą tylko ołowiu ($100\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\text{ rok}^{-1}$) oraz kadmu ($10\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\text{ rok}^{-1}$). Wartości te w przypadku ołowiu były przekraczane w rejonie Zabrze do 1986 roku, ale lokalnie stwierdzono przekroczenia jeszcze w 1991/92. W Lasach Kochłowskich przekroczenia występowały do 1988 roku, w rejonie Bytomia – do 1990 roku, a w przypadku WPKiW brakuje danych.

Jeśli chodzi o kadm, to przekroczenia dopuszczalnych wartości stwierdzono jedynie w 1989 roku w rejonie Bytomia. Na pozostałych obiektach nie zanotowano wartości przekraczających dopuszczalne stężenie, a wysokie zawartości tego składnika w badanych glebach (Nadleśnictwo Brynek 1,9–4,1; Nadleśnictwo Siewierz 3–6,2; Nadleśnictwo Chrzanów 4,5–10,5; Park Powstańców Śl.

0,8–4,7; Lasy Kochłowskie 1,3–12,1; WPKiW 5,8–16,4; Park im. Osmańczyka 3,8–50,2 mg·kg⁻¹) pochodzą z wieloletniego opadu kadmu i jego kumulacji w glebie. Wysokie współczynniki korelacji pomiędzy specyficzną podatnością magnetyczną a zawartością metali ciężkich (Tab. 7, 9, 12 i 14) wskazują na technogenne pochodzenie kadmu w glebach badanego obszaru. Najniższe wartości tego współczynnika zanotowano w Parku im. Osmańczyka (Tab. 9), gdzie na czynniki technogenne mogą się nakładać czynniki geogenne, związane z płytkim zaleganiem w tym rejonie rud cynku i ołowiu. Podobna sytuacja ma miejsce w nadleśnictwach: Brynek i Chrzanów.

Zanieczyszczenia chemiczne oraz podatność magnetyczna charakteryzują się stosunkowo dużą zmiennością przestrzenną. Konieczne wydaje się więc z jednej strony precyzyjne wyznaczenie obszarów najbardziej zanieczyszczonych, a z drugiej strony stałe monitorowanie tych zanieczyszczeń, z uwagi na potencjalne zagrożenie ekologiczne, które może uaktywnić się w momencie zmian jednego lub kilku parametrów fizyko-chemicznych środowiska glebowego (np. obniżenie pH).

Celem stosowania magnetometrii glebowej jako metody wskaźnikowej jest obniżenie kosztów monitoringu klasycznego. Wstępne rozpoznanie magnetyczne miejsc potencjalnych zanieczyszczeń powinno być przeprowadzone na terenie wszystkich obszarów parkowo-leśnych na terenie GOP. Badania te powinny być wykonywane bezpośrednio w terenie za pomocą czujnika podatności magnetycznej MS2D Bartington lub innego o podobnej konstrukcji i zasadzie działania, bez konieczności pobierania próbek glebowych.

Pomiaru należy dokonywać bezpośrednio na powierzchni gleby, przy czym zalecane jest odgarnięcie podpoziomu Ol, który tworzą głównie nieobjęte procesem rozkładu szpilki, czy też liście drzew i krzewów. Zabieg ten pozwoli na uniknięcie zakłóceń pomiarowych spowodowanych przez, z reguły diamentyczną (bliską wartości zerowej) i o zróżnicowanej miąższości, warstwę Ol, działającą izolacyjnie (obniżającą zasadniczą wartość k pochodzącą od technogennych cząstek magnetycznych zakumulowanych w poziomie Of/Oh). Zabieg ten wymaga od zespołu wykonującego pomiary podstawowej umiejętności odróżnienia granicy podpoziomów genetycznych: Ol i Of. W przypadku, gdy pomiary prowadzą geofizycy lub inne osoby, nieposiadające tej wiedzy, wymagane jest krótkie przeszkolenie przed przystąpieniem do pomiarów. Niedopuszczalne jest odsuwanie poziomu organicznego w całości i mierzenie podatności magnetycznej dopiero w poziomie próchniczno-mineralnym (Ah).

Istotne dla pomiarów na obszarach leśnych jest zachowanie możliwie jak najbardziej zbliżonych warunków pomiarowych na poszczególnych powierzchniach leśnych. Pomiary powinny być wykonywane w starych drzewostanach (co najmniej 50 lat). Należy unikać stoków o nachyleniu > 5% (chyba, że pomiary wykonywane są na terenach górskich), widocznych wychodni skalnych (jeśli to niemożliwe, należy wykonać również pomiary skały lub pobrać próbkę), miejsc o widocznej erozji powierzchniowej. Tam, gdzie to jest możliwe, punkty i powierzchnie monitoringowe powinny być usytuowane z dala od lokalnych źródeł

emisji (drogi dostępne dla samochodów, budynki, dzikie wysypiska itd.). Na terenie parków spełnienie tych wymogów może być trudne, ale przy interpretacji danych powinno się pamiętać o możliwości wpływu tych czynników na wartość pomiaru. Na obszarach leśnych pomiary powinny być wykonywane co najmniej 100 m od krawędzi lasu, a pojedynczy pomiar powinien być wykonany co najmniej 1 m od pnia drzewa. W przypadku drzewostanów liściastych istotne jest, aby pomiary były wykonywane o tej samej porze roku (najlepiej wiosną).

Stosunkowo duża zmienność przestrzenna, zarówno podatności magnetycznej, jak i zawartości metali ciężkich na terenach parków i lasów miejskich oraz zasada unikania wartości przypadkowych wymaga prowadzenia pomiarów uśrednionych. Na pomiar ostateczny w punkcie składa się kilkanaście do kilkudziesięciu pojedynczych pomiarów. Ich ilość uzależniona jest od zmienności wartości κ w punkcie pomiarowym (im większa zmienność tym więcej pomiarów należy wykonać), a przyjmowana jest wartość średnia.

Zespół pomiarowy powinien składać się z dwóch osób. Jedna osoba wyposażona w odbiornik GPS w trakcie wykonywania pomiaru stoi nieruchomo, aby współrzędne geograficzne w punkcie były stałe, druga zaś, obsługująca miernik podatności magnetycznej, wykonuje szereg pomiarów w kole o średnicy ok. 2 m.

Na obszarach leśnych (w miarę możliwości techniczno-aparaturowych) zaleca się dodatkowe dokonanie pomiaru wartości κ również w układzie pionowym. W terenie pomiar ten wykonywany jest za pomocą miernika SM 400. W tym celu wykonuje się pionowy otwór w glebie za pomocą sondy glebowej Humax lub innej, dostosowanej średnicą do średnicy cylindra pomiarowego SM 400. Uzyskany w ten sposób rdzeń glebowy znajduje się w plastikowym cylindrze i zachowuje naturalną budowę profilu glebowego. Może on zostać zabrany do laboratorium i wykorzystany do dodatkowych badań magnetycznych lub geochemicznych. Miernik SM 400 umieszcza się w wykonanym w glebie otworze, zwracając uwagę, aby dno cylindra dotykało dna wykonanego otworu. Po połączeniu urządzenia z przenośnym komputerem należy uruchomić program sterujący urządzeniem. Czujnik (cewka) urządzenia pomiarowego zostaje opuszczony na dno cylindra pomiarowego. Pomiar wykonywany jest najpierw od dołu w górę, a później w kierunku odwrotnym, przez co temperatura cewki pomiarowej dostosowuje się lepiej do temperatury gleby. Pomiar głębokości dokonywany jest automatycznie na podstawie drogi przebytej przez cewkę w trakcie pomiaru w jedną stronę. Rozdzielczość pomiarowa miernika wynosi 6 punktów na 1 mm. Informacje dotyczące szczegółowej konstrukcji miernika SM 400, jak i zasady wykonywania pomiarów i interpretacji uzyskanych wyników zostały opisane w publikacji [56].

Na podstawie wcześniejszych badań [49, 53], w zależności od wartości κ określone zostały stopnie zagrożenia gleb przez emisje przemysłowe: $\kappa < 30 \times 10^{-5}\text{SI}$ – zagrożenie małe, $30 < \kappa < 50 \times 10^{-5}\text{SI}$ – zagrożenie średnie, $\kappa > 50 \times 10^{-5}\text{SI}$ – zagrożenie duże. Przy wartości κ powyżej $50 \times 10^{-5}\text{SI}$ zawartość ołowiu (Pb) w glebie z reguły przekracza graniczną wartość $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Pb rozpuszczalnego w 2M HNO_3 [5].

W przypadku konieczności poboru próbek gleby do szczegółowych badań laboratoryjnych (np., gdy podatność magnetyczna terenowa przekracza wartość 50×10^{-5} SI) lub gdy dane monitoringowe z lat wcześniejszych wskazują na możliwość zanieczyszczenia metalami ciężkimi, próbki glebowe należy pobierać w miarę możliwości selektywnie z podpoziomu Of/Oh oraz poziomu Ah.

Stwierdzenie występowania anomalii magnetyczno-geochemicznej oraz potwierdzenie badaniami szczegółowymi związku pomiędzy wartością k a zawartością metali ciężkich na badanym terenie pozwoli precyzyjnie wyznaczyć zasięg obszarów zanieczyszczonych, bez konieczności pobierania dodatkowych próbek glebowych, również w ostatnim etapie badań.

Zgodnie z przyjętą przez IUNG i zalecaną również dla starostw procedurą poboru próbek glebowych dla gruntów zaliczanych przez Rozporządzenie [37] do grupy B (użytki rolne, lasy, nieużytki, tereny zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych i terenów komunikacyjnych) do analizy chemicznej należy pobierać próbki z wierzchniej warstwy gleb (0–30 cm). Próbki mogą być pobierane z pojedynczych punktów, bądź jako próbki łączne poprzez pobranie i uśrednienie większej liczby próbek indywidualnych. Również wartości graniczne zawartości metali ciężkich określone w aneksie do Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [37] odnoszą się do tej warstwy gleby. O ile takie podejście do określania wartości granicznych uzasadnione jest na terenach rolnych, gdzie gleba ulega homogenizacji na skutek zabiegów agrotechnicznych, to na terenach leśnych, zastosowanie tych samych kryteriów oceny jest problematyczne.

W glebach leśnych największa ilość zanieczyszczeń nieorganicznych, organicznych, jak również największa ilość technogennych cząstek magnetycznych, związanych z opadem pyłów, zgromadzona jest w poziomie organicznym, a ściślej: w zwykle kilkucentymetrowej warstwie podpoziomów: fermentacyjnego i humifikacyjnego (Of i Oh). W poziomach mineralnych zawartość zarówno metali, jak i cząstek magnetycznych drastycznie spada. W rejonach będących pod silnym wpływem emisji przemysłowo-miejskich tak duża koncentracja zanieczyszczeń w tej stosunkowo cienkiej warstwie może stanowić poważny problem ekologiczny dla ludzi, zbierających i spożywających owoce runa leśnego (grzyby, jagody, zioła). Wyniki analiz chemicznych próbek gleb z lasów miejskich i parków GOP pokazały, że zawartości metali ciężkich przekraczają w tym poziomie wartości graniczne na wszystkich badanych powierzchniach, a w niektórych rejonach są to przekroczenia nawet kilkudziesięciokrotne.

Stosując powszechnie używaną metodę pobierania próbek glebowych z uśrednionej warstwy 0–20, bądź 0–30 cm, uzyskujemy informację nieadekwatną do istniejącej sytuacji w glebie, gdyż prawie $\frac{2}{3}$ próbek (a w przypadku niektórych gleb leśnych nawet więcej) stanowi poziom mineralny, będący faktycznie matrycą rozcieńczającą ilość zanieczyszczeń zakumulowanych w poziomie organicznym gleby. Wytyczne Komisji Ekonomicznej Unii Europejskiej ds. Konwencji o Transporcie Zanieczyszczeń Powietrza Dalekiego Zasięgu przygotowane na

potrzeby Międzynarodowego Programu Współpracy w dziedzinie Oceny i Monitoringu Efektów Wpływu Zanieczyszczenia Powietrza na Lasy [18], w rozdziale dotyczącym metod pobierania próbek i analizy gleb jednoznacznie obligują do oddzielnego pobierania próbek z poziomu organicznego gleby (podpoziomy Ol, Of i Oh) oraz poziomu mineralnego [18]. Konsekwencją tego powinno być ustanowienie nowych wyższych wartości granicznych dla poziomu organicznego gleb leśnych, gdyż zastosowanie obowiązujących wartości granicznych, ustalonych dla potrzeb głównie gleb uprawnych spowodowałoby kuriozalną sytuację, że na terenie wielu regionów Polski całość obszarów leśnych powinna być uznana za obszary zanieczyszczone.

W przypadku gleb leśnych zastosowanie magnetometrii glebowej może pomóc przy wstępnej ocenie stanu zanieczyszczenia gleby pyłami przemysłowo-miejskimi i związanymi z nimi metalami ciężkimi. Wspomniane wytyczne wypracowane w ramach programu ICP Forest wskazują na konieczność wykonywania pomiarów zawartości w poziomie organicznym tylko Zn, Pb, Cd, Cu i Mn. Jak wykazały przeprowadzone badania, większość tych metali charakteryzują stosunkowo wysokie współczynniki korelacji pomiędzy ich zawartością a mierzoną podatnością magnetyczną gleby. Na większości obszarów parametr ten mógłby być więc wykorzystany jako wskaźnik wstępnie określający, jak wysokiego poziomu zanieczyszczenia tymi metalami w glebie można się spodziewać i czy istnieje konieczność przeprowadzenia szczegółowych analiz chemicznych na ich zawartość. Za wartości graniczne można by w tym przypadku przyjąć wartość podatności magnetycznej terenowej $\kappa = 50 \times 10^{-5} \text{SI}$ zmierzoną w terenie w poziomie Of/Oh (po odgarnięciu poziomu Ol) lub wartość specyficznej podatności magnetycznej $\chi = 100 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – w przypadku pomiarów laboratoryjnych w próbkach glebowych pobranych z poziomu organicznego.

Wstępne pomiary κ na powierzchni monitorowanej, pokazujące zmienność κ oraz miejsca lokalnych anomalii magnetycznych, będących prawdopodobnie również miejscami anomalii geochemicznych w przypadku wspomnianych wyżej metali, pomogą również w ustaleniu miejsc poboru i ilości próbek do badań chemicznych. Wytyczne ICP Forest [18] sugerują konieczność pobierania minimum 24 próbek z powierzchni monitorowanej. Normy w Wielkiej Brytanii mówią o minimum 30 próbkach, a wyliczenia geostatystyczne niektórych autorów sugerują nawet 36 [22]. Wstępne rozpoznanie powierzchni monitorowanej, dające znacznie więcej informacji o prawdopodobieństwie rozkładu badanych zanieczyszczeń, pozwoliłoby w znacznym stopniu ograniczyć ilość tych próbek.

Jako że w analizach, ocenach i prognozach wykonywanych w skali kraju, jak również w ramach monitoringu regionalnego, szczególnie na terenach wysokich zagrożeń, zgodnie z wymogami Unii Europejskiej, wdrażana będzie metoda ocen zintegrowanych oparta na modelu D-P-S-I-R (Czynniki sprawcze – Presje – Stan – Oddziaływanie – Środki przeciwdziałania) konieczne jest wprowadzanie różnego rodzaju wskaźników technicznych i biologicznych [58]. W świetle uzyskanych wyników wydaje się, że podatność magnetyczna jako łatwo mierzalny

wskaźnik obecności pyłów technogennych i związanych z nimi metali ciężkich w glebie może być do tego modelu przydatna. Parametr ten mierzony bezpośrednio na powierzchni gleby zarówno na terenach rolnych, jak i leśnych (podpoziom Of/Oh, po odgarnięciu ściółki) mógłby być wykorzystany jako jedna z danych, odzwierciedlająca stan aktualny gleby, a mierzona w pojemnikach z piaskiem (o znanej wartości podatności magnetycznej zbliżonej do zera) umieszczonych na stałe w punkcie badań – odzwierciedlająca aktualne ładunki zanieczyszczeń pyłowych wprowadzanych do środowiska (Presje).

Prowadzony obecnie przez Instytut Badawczy Leśnictwa ogólnokrajowy system monitoringu lasów, w ramach którego prowadzi się również badania gleb leśnych, w praktyce nie obejmuje swym zasięgiem lasów miejskich, a nawet państwowych zlokalizowanych w pasie ochronnym GOP. Istniejące normy prawne odnośnie wartości granicznych, określających poziom dopuszczalny wielu zanieczyszczeń w glebach, nie uwzględniają specyfiki gleb leśnych. Podatność magnetyczna może być parametrem stosowanym w przypadku gleb uprawnych i leśnych. Może być wykorzystywana przy prognozowaniu zagrożeń ekologicznych obszarów monitorowanych spowodowanych opadem pyłów przemysłowych i komunikacyjnych z wykorzystaniem modelu D-P-S-I-R oraz innych modeli, pozwalających na wykonywanie prognoz ekologicznych i stanowiących ważne ogniwo w planowaniu przestrzennym miast i ich obszarów zieleni (parki, lasy komunalne), traktowanych z reguły jako strefy rekreacyjne. Pomocne może być tutaj również wykorzystanie metod geostatystycznych.

Za wykorzystaniem podatności magnetycznej gleb jako wskaźnika ekologicznego w systemie zintegrowanego monitoringu środowiska przemawiają następujące przesłanki:

- wysokie zależności korelacyjne pomiędzy podatnością magnetyczną gleb w woj. śląskim a różnymi wskaźnikami emisji i imisji zanieczyszczeń powietrza;
- wysokie zależności korelacyjne pomiędzy podatnością magnetyczną różnych pyłów przemysłowych a zawartością w nich metali ciężkich;
- wysokie zależności korelacyjne pomiędzy podatnością magnetyczną gleb a zawartością w nich metali ciężkich.

9. Wnioski

1. Obszary leśne i parkowo-leśne w woj. śląskim spełniają szczególną rolę w kształtowaniu i ochronie różnorodności biologicznej. Ta funkcja jest zagrożona na obszarach o wysokim stopniu zanieczyszczenia gleb. Badane obiekty charakteryzują się podwyższonymi, a nawet wysokimi wartościami podatności magnetycznej (κ), bowiem tylko w kilku punktach pomiarowych stwierdzono wartości κ poniżej $30 \times 10^{-5} \text{SI}$.
2. Badane gleby nadleśnictw i terenów parkowo-leśnych GOP wykazują znaczną zawartość metali ciężkich. Są to głównie, poza Nadleśnictwem Brynek i Chrzanów oraz Parkiem im. E. Osmańczyka w Bytomiu, metale ciężkie technogenego pochodzenia. Dotyczy to głównie takich metali jak ołów i kadm (nawet 20–30 krotnie przekroczone liczby graniczne), bowiem przekroczenia wartości granicznej dla cynku są mniejsze. Nadleśnictwa Rybnik i Rudziniec, a także Park Powstańców Śl. w Zabrzu to najmniej zanieczyszczone obiekty badań. Najwyższe zawartości metali ciężkich stwierdzono w Parku im. Osmańczyka w Bytomiu oraz na terenie WPKiW.
3. Wysoka jest również zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w badanych glebach, co łącznie z zawartością metali ciężkich wskazuje na znaczne zagrożenie ekologiczne tych obszarów.
4. Ze względu na wysoki stopień zanieczyszczenia gleb imisjami pyłów miejsko-przemysłowych, badane tereny leśne i parkowo-leśne stanowią duże zagrożenie ekologiczne dla roślinności, zwierząt oraz człowieka. Metale ciężkie pochodzące z opadających pyłów i akumulujące się w glebie przez dziesiątki lat stanowią rodzaj „bomby ekologicznej” z opóźnionym zapłonem. Wystarczy mała zmiana warunków środowiskowych (np. obniżenie pH, zwłaszcza gleby leśnej), żeby substancje szkodliwe stały się łatwo dostępne dla poszczególnych ogniw łańcucha troficznego. Zagrożone skażeniem chemicznym są szczególnie grzyby i owoce runa leśnego, które przy rekreacyjnym wykorzystaniu terenów parkowo-leśnych odgrywają dużą rolę.
5. Magnetometria glebowa to metoda, która może wspomóc monitoring na obszarach zagrożeń ekologicznych w następującym zakresie:

- wyznaczanie punktów i powierzchni monitoringowych w systemie zarówno monitoringu krajowego, regionalnego, jak i lokalnego poprzez wskazywanie miejsc na powierzchniach możliwie jak najbardziej jednorodnych i reprezentatywnych dla danego obiektu;
- ograniczenie konieczności wykonywania analiz chemicznych na zawartość metali ciężkich jedynie do miejsc anomalii magnetyczno-geochemicznych, gdzie zachodzi największe prawdopodobieństwo ich wysokiej zawartości prowadzącej do zanieczyszczenia terenu;
- zastępowanie czasochłonnych i drogich analiz chemicznych przez okresowe pomiary kontrolne podatności magnetycznej κ na obszarach, gdzie dotychczasowy poziom zawartości metali ciężkich był znacznie niższy od liczb granicznych;
- wyznaczanie zasięgu oddziaływania emisji pyłowych z zakładów przemysłowych emitujących technogenne cząstki magnetyczne i metale z nimi związane;
- wyznaczanie obszarów, na których przekroczone są standardy jakości gleb w odniesieniu do metali ciężkich związanych z depozycją zanieczyszczeń pyłowych w skali obiektu.

10. Literatura

- [1] Bielawski L., J. Falandysz: *Cynk w jadalnych grzybach z rodziny Boletaceae zebranych z różnych obszarów leśnych Polski północnej*, [w:] Cynk w środowisku - problemy ekologiczne i metodyczne, Zeszyty Naukowe „Człowiek i środowisko” PAN, Warszawa, **33**, 397–402 (2002).
- [2] Biuletyn Nr 10: *Zanieczyszczenia atmosfery*. Praca zbiorowa pod red. J. Paszyńskiego. Komitet dla Spraw Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego PAN, Warszawa 1957.
- [3] Brzostowski A., J. Falandysz: *Cynk w krowiaku podwiniętym Paxillus involutus (Batsch) Fr. zebranych z różnych ekosystemów leśnych Polski*, [w:] Cynk w środowisku - problemy ekologiczne i metodyczne, Zeszyty Naukowe „Człowiek i środowisko PAN, Warszawa, **33**, 385–390 (2002).
- [4] Dedic A.N., P. Hoffmann, J. Ensling: *Chemical characterization of iron in atmospheric aerosols*. Atmos. Environ., **26A**, 2545–2548 (1992).
- [5] Desaulles A., M. Hämmann, M. Weisskopf: *Commentary on the Ordinance of 1 July 1998 relating to impacts on the soil (OIS)*. Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape, Berne 2001.
- [6] Doyle J.L., T.L. Hopkins, P.R. Betzer: *Black magnetic spherule fallout in the eastern Gulf of Mexico*. Science, **194**, 1157–1159 (1976).
- [7] Flanders P.J.: *Collection, measurements and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment*. J. Appl. Phys., **75**, 5931–5936 (1994).
- [8] Górka P., S. Kowalski, E. Zajusz-Zubek, A. Brózda, M. Brzezina: *Koksownia „Knurów” w Knurowie jako źródło emisji metali ciężkich*. Karbo, **6**, 214–217 (2001).
- [9] Greszta J.: *Influence of industrial pollution on forests*. SGGW-AR, Warszawa 1987.
- [10] GUS: *Ochrona Środowiska 1999. Informacje i opracowania statystyczne*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 1999.
- [11] GUS: *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2009.
- [12] Handy R.L., D.T. Davidson: *On the curious resemblance between fly ash and the meteoritic dust*. Proc. Iowa Acad. Sci., **60**, 373–379 (1953).

- [13] Hanesch M., G. Rantitsch, S. Hemetsberger, R. Scholger: *Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping*. Sci. Total Environ., **382**, 351–363 (2007).
- [14] Hansen L.D., D. Silberman, G.L. Fisher: *Crystalline components of stack-collected, size-fractionated coal fly ash*. Environ. Sci. Technol., **15**, 1057–1062 (1981).
- [15] Heller F., Z. Strzyszczyński, T. Magiera: *Magnetic record of industrial pollution on forest soils of Upper Silesia (Poland)*. Journal of Geophysical Researches, **103** (B8), 17767–17774 (1998).
- [16] Hoffmann G., W. Scholl, A. Trenkle: *Schadstoffbelastung von Böden durch Kraftfahrzeugverkehr; Blei, Cadmium, Auftausalze und Kohlenwasserstoffe*. Agrar-und Umweltforschung in Baden-Württemberg, 19, Ulmer, Stuttgart 1989.
- [17] Hulet L.D., A.J. Weinberger, K.J. Northcutt, M. Ferguson: *Chemical species in fly ash from coal-burning power plant*. Science, **210**, 1356–1358 (1980).
- [18] ICP Forests: *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effect of air pollution on forests. Part IIIa. Sampling and Analysis of Soil*. Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, Hamburg 2003.
- [19] Kabata-Pendias A.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa 1999.
- [20] Kalliomäki L.P., K. Aittoniemi, T. Gustafsson, K. Kalliomäki, M. Koponen: *Research on industrial ferrous metal aerosols*. Ann. Occup. Hyg., **26**, 337–345 (1982).
- [21] Keyser T.R., F.S. Natusch, Jr.C.A. Evans, R.W. Linton: *Characterizing the surfaces of environmental particles*. Environ. Sci. Technol., **12**, 768–773 (1978).
- [22] Kirwan N, M.A. Oliver, A.J. Moffat, G.W. Morgan: *Sampling the soil in long-term forest plots: The implications of spatial variation*. Environ. Monitoring and Assessment, **111**, 149–172 (2005).
- [23] Koniecznyński J.: *Skuteczność pracy elektrofiltrów, a emisja metali śladowych w spaliniach elektrowni węglowych*. Ochrona Powietrza, 1–3, 7–14 (1982).
- [24] Królowska-Kułas M., W. Kudelka, S. Popek: *Zawartość ołowiu w wybranych grzybach*, [w:] Ołów w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne, Zeszyty Naukowe „Człowiek i środowisko PAN, Warszawa, **21**, 189–192 (1998).
- [25] Lipka K., J. Falandysz, L. Bielawski, A. Brzostowski, B. Wyrzykowska: *Cynk i inne metale w grzybach wielkoowocnikowych zebranych z terenu Polski północnej*, [w:] Cynk w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne, Zeszyty Naukowe „Człowiek i środowisko PAN, Warszawa, **33**, 391–398 (2002).
- [26] Lis J., A. Pasieczna: *Atlas Geochemiczny Polski*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 1995.

- [27] Magiera T., J. Lis, J. Nawrocki, Z. Strzyszcz: *Podatność magnetyczna gleb Polski*. PIB, Warszawa 2002.
- [28] Magiera T., Z. Strzyszcz: *Ferromagnetic minerals of anthropogenic origin in soils of some Polish national parks*. Water Air and Soil Poll., **124**, 37–48 (2000).
- [29] Magiera T., Z. Strzyszcz, A. Kapicka, E. Petrovsky and MAGPROX Team: *Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe*. Geoderma, **130**, 3–4, 299–311 (2006).
- [30] Magiera T., Z. Strzyszcz, M. Rachwał: *Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the upper Silesia Industrial Region, Poland*. Forest Ecology and Management, **248** (1–2), 36–42 (2007).
- [31] Malinowska E., P. Szefer, J. Falandysz: *Metals bioaccumulation by bay bolete, Xerocomus badius, from selected sites in Poland*. Food Chemistry, **84**, 405–416 (2004).
- [32] Maliszewska-Kordybach B.: *Zależność między właściwościami gleb i zawartością w nich WWA; na przykładzie gleb z terenu użytków rolnych w woj. lubelskim*. Archiwum Ochrony Środowiska, **24** (3), 79–91 (1998).
- [33] Morris W. A., J. K. Versteeg, C. H. Marvin, B. E. McCarry, N. A. Rukavina: *Preliminary comparisons between magnetic susceptibility and polycyclic aromatic hydrocarbon content in sediments from Hamilton Harbour, western Lake Ontario*. The Science of the Total Environment, **152**, 153–160 (1994).
- [34] Ostrowska A., S. Gawliński, Z. Szczubiałka: *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Katalog, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1991.
- [35] Pacyna J. M.: *Elektrownie węglowe jako źródło skażenia środowiska metalami ciężkimi i radionuklidami*. Prace Naukowe IKŚ Politechniki Wrocławskiej, ser. Monografie **17**, Wrocław 1980.
- [36] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej nr L 364/5.
- [37] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz. U. Nr 165, poz. 1359 z dnia 4 października 2002.
- [38] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 grudnia 2002 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu. Dz. U. 03.1.12 z dnia 8 stycznia 2003.
- [39] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 grudnia 2000 r. w sprawie wykazu dopuszczalnych ilości substancji dodatkowych i innych substancji obcych dodawanych do środków spożywczych lub używek, a także zanieczyszczeń, które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub używkach. Dz. U. Nr 9, poz. 72 z dnia 5 lutego 2001.
- [40] Rózkowska A.: *Zawartość pierwiastków śladowych w węglach kamiennych z centralnej i południowej części GZW*, [w:] Ogólnokrajowa konferencja

- pt. „Problemy badań węgla w pracach geologiczno-złożowych w aspekcie nowych technologii jego utylizacji”, Uniwersytet Śląski, Katowice 1984.
- [41] Schibler L., T. Boyko, M. Ferdyn, B. Gajda, S. Höll, N. Jordanova, W. Rösler and Magprox team: *Topsoil magnetic susceptibility mapping: Data reproducibility and compatibility, measurement strategy*. Stud. geophys. geod., **46**, 43–57 (2002).
- [42] Skiba S.: *Ocena wpływu emisji przemysłowych na gleby Karkonoszy*, [w:] red. Z. Fischer: Problemy ekologiczne wysokogórskiej części Karkonoszy. Oficyna Wydawnicza Instytutu Ekologii PAN, Dziekanów Leśny 1995, 97–111.
- [43] Strzyszczyński Z.: *Właściwości fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne odpadów poftotacyjnych rud cynku i ołowiu w aspekcie ich biologicznej rekultywacji*. Archiwum Ochrony Środowiska, **3–4**, 19–50 (1980).
- [44] Strzyszczyński Z.: *Anwesenheit des ferromagnetischen Eisens in oberschlesischen Waldböden und deren Ursachen*. Mitt. Deut. Boden. Ges., **59**, II, 1197–1202, (1989a).
- [45] Strzyszczyński Z.: *Ferromagnetic properties of forest soils being under influence of industrial pollution. Air pollution and forest decline*, [w:] Proc. 14th Int. Meeting for Specialist in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems, IUFRO, Interlaken, 1989b, 201–207.
- [46] Strzyszczyński Z.: *Magnetic susceptibility of soils in the areas influenced by industrial emissions* [w:] Schulín R., Desaulles A.: Soil Monitoring, Birkhäuser Verlag Basel, 1993, 255–269.
- [47] Strzyszczyński Z.: *Gehalt an Ferromagnetika in den von der Immission der Zement-Industrie in der Wojewodschaft Opole beeinflussten Böden*. Mitt. Deut. Boden. Ges., **76**, 1477–1480 (1995).
- [48] Strzyszczyński Z.: *Heavy metal contamination in mountain soils of Poland as a result of anthropogenic pressure*. Biology Bulletin, **26**, 6, 593–605 (1999).
- [49] Strzyszczyński Z.: *Zagrożenie gleb użytków rolnych i siedlisk leśnych przez emisje ferromagnetyków*. Arch. Ochr. Środ., **30** (4), 101–112 (2004).
- [50] Strzyszczyński Z., T. Magiera: *Heavy metal contamination and magnetic susceptibility in soils of southern Poland*. Phys. Chem. Earth, **23**, 1127–1131 (1998).
- [51] Strzyszczyński Z., T. Magiera: *Record of industrial pollution in Polish ombrotrophic peat bogs*. Physics and Chemistry of the Earth, **26** (11–12), 859–866 (2001).
- [52] Strzyszczyński Z., T. Magiera: *Ocena zanieczyszczenia gleb leśnych na podstawie podatności magnetycznej na przykładzie Nadleśnictwa Katowice*. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, **961**, 19–30 (2003/4).
- [53] Strzyszczyński Z., T. Magiera: *Zastosowanie magnetometrii do oceny zagrożenia gleb przez emisje przemysłowe*, [w:] Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, **13**, 93–115, Lublin 2003.

- [54] Strzyszczyński Z., R. Tölle, J. Katur: *Zur Anwendung eines hochfrequenten Messverfahrens für den Nachweis von ferromagnetischen Eisen in der Umwelt*. Arch. Ochr. Środ., **3–4**, 137–143 (1988).
- [55] Strzyszczyński Z., T. Magiera, F. Heller: *The influence of industrial immisions on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia*, Studia geoph. et geod., **40**, 276–286 (1996).
- [56] Strzyszczyński Z., T. Magiera, M. Rachwał: *Magnetometr SM 400 jako nowe narzędzie do oceny wielkości depozycji pyłów przemysłowo-miejskich w glebach w oparciu o pomiar podatności magnetycznej w terenie*, [w:] Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, **33** (2), 623–631, Lublin 2005.
- [57] Strzyszczyński Z., T. Magiera, M. Rachwał: *Application of soil magnetometry for identification of technogenic anomalies in trace metal and iron contents: a case study in the Katowice Forest District*. Polish J. Environ. Stud., **15** (2a), 176–184 (2006).
- [58] Stuczyński T., R. Dębicki, S. Gonet, W. Stępniewski, E. Czyż, B. Maliszewska-Kordybach, J. Rejman, G. Siebielec, Z. Stępniewska: *Analiza stanu oraz określenie kierunków działań w zakresie zrównoważonego wykorzystania i ochrony gleb – ekspertyza na zlecenie Departamentu polityki Ekologicznej Ministerstwa Środowiska i Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej*. IUNG, Puławy – Warszawa, październik 2005 (niepublikowane).
- [59] Terelak H., T. Stuczyński, T. Motowicka-Terelak, M. Piotrowska: *Zawartość Cd, Cu, Ni, Pb, Zn i S w glebach województwa katowickiego i Polski*. Arch. Ochr. Środ., **3–4**, 167–180 (1997).
- [60] Thompson R., F. Oldfield: *Environmental magnetism*. Allen and Unwin, London 1986.
- [61] Tokarska A., E. Zajusz-Zubek: *Analiza stopnia skażenia gleby z terenów byłej koksowni paku „Concordia” w Zabrze*. Karbo-Energochemia-Ekologia, **4**, 150–152 (1996).
- [62] Wedge A., M. Hutton, P.J. Peterson: *The concentration and particle size relationships of selected trace elements in fly ashes from U.K. coal-fired power plants and a refuse incinerator*. The Science of the Total Environment, **54**, 13–27 (1986).
- [63] Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna: *Zanieczyszczenie atmosfery w województwie śląskim w latach 1970-2004*, Katowice 2003.
- [64] Zawadzki J., P. Fabijańczyk, T. Magiera: *Wpływ występowania dolomitów na zależność pomiędzy podatnością magnetyczną gleb a zawartością metali ciężkich na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego*. Ecological Chemistry and Engineering, **15/S1**, 111–122 (2008).
- [65] Zwoliński J.: *Wpływ emisji zakładów przemysłu metali nieżelaznych na środowisko leśne – rola metali ciężkich w degradacji lasów*. Prace Inst. Bad. Leśnictwa, **809**, Warszawa 1995.

- [66] Zwoździak J., G. Kmieć, A. Zwoździak, K. Kacperczyk: *Presja zanieczyszczeń przemysłowych w ostatnim wieloleciu a stan obecny*, [w:] Fischer Z.: Problemy ekologiczne wysokogórskiej części Karkonoszy, Oficyna Wydawnicza, Instytut Ekologii PAN, Dziekanów leśny 1995, 79-96.

Zastosowanie magnetometrii do monitoringu i oceny ekologicznej gleb na obszarach objętych wpływem emisji przemysłowych

Streszczenie

Celem przeprowadzonych badań było określenie stanu środowiska glebowego na terenie lasów miejskich, parków Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP) i obszarów sąsiadujących z GOP (będących miejscami rekreacji dla ludności aglomeracji górnośląskiej, które są jednocześnie obszarami gromadzenia się największej w Polsce ilości zanieczyszczeń) oraz ocena bezpośrednich zagrożeń ekologicznych, wynikających z depozycji zanieczyszczeń w glebach.

Badania prowadzono na terenach parkowo-leśnych GOP i jego sąsiedztwa. Zmierzono podatność magnetyczną gleb badanych obiektów, a także określono zawartość metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebach. Ze względu na szczególne funkcje badanych terenów parkowo-leśnych, określony został stopień zanieczyszczenia metalami ciężkimi grzybów i owoców maliny pospolitej.

Badane obiekty charakteryzują się podwyższonymi, a nawet wysokimi wartościami podatności magnetycznej (często powyżej 100×10^{-5} SI) oraz przekraczającymi wartości dopuszczalne zawartościami metali ciężkich i WWA w glebach. Uzyskane wyniki wskazują na znaczne zagrożenie ekologiczne badanych obszarów, zarówno dla roślinności, zwierząt, a także człowieka. Wysokie zawartości metali ciężkich w grzybach i owocach runa leśnego potwierdziły tezę, że zanieczyszczenia zdeponowane w glebach mogą przedostawać się do łańcucha troficznego. Ze względu na tak wysoki poziom zanieczyszczenia grzybów i owoców metalami ciężkimi, ich zbiór oraz spożycie nie są wskazane.

Wcześniejsze doświadczenia oraz wyniki przedstawionych badań stały się podstawą do opracowania wytycznych do bezpiecznego wykorzystania terenów GOP do celów rekreacyjnych oraz planów dalszego ich zagospodarowania.

Magnetometria glebowa po raz kolejny okazała się metodą bardzo przydatną zarówno w monitoringu gleb, jak i w wyznaczaniu miejsc anomalii magnetycznych

i geochemicznych. Dlatego w ramach niniejszej pracy określone zostały zasady stałego monitoringu gleb zarówno leśnych, jak i rolnych wraz z wykorzystaniem magnetometrii jako metody wstępnego rozpoznania terenu pod względem stopnia jego zanieczyszczenia. Zastosowanie magnetometrii glebowej jako szybkiej i taniej metody wskaźnikowej pozwala na obniżenie kosztów monitoringu klasycznego.

Application of magnetometry for monitoring and ecological assessment of soils of areas influenced by industrial emissions

Summary

The aim of the present investigation was to determine soil environment condition of parks and urban forests in the Upper Silesian Industrial District (USIR) and its neighborhood. These areas have been used as recreation places for their inhabitants. On the other hand, in these areas huge amounts of pollutants are accumulated, and, consequently, the assessment of direct ecological hazards was also the purpose of the research.

Magnetic susceptibility of soil was measured directly in the field. Heavy metal contents as well as contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's) were determined on samples collected from forests soils. Regarding a special function of investigated objects, the samples of mushrooms and raspberries were subjected to heavy metal analysis. The soils of investigated parks and forests are characterized by high values of magnetic susceptibility (often above 100×10^{-5} SI) as well as heavy metal and PAH's contents exceeding limit values. The obtained results indicate a considerable ecological threat for plants, animals and human beings. High contamination of mushrooms and forest fruits by heavy metals confirmed the thesis that heavy metals from dust deposition get into the trophic chain. That the reason is why, it is inadvisable to collect them from researched areas, especially for consumption.

Previous experiences and present results provided the basis of guidelines for safe recreation usage of USIR forests and for their development plans.

Soil magnetometry once again proved to be a useful monitoring method and a proxy for the accumulation of heavy metals in soil. Within the scope of this work the principles of permanent monitoring of forest and agricultural soils were determined. Application of quick and cost-effective magnetic susceptibility mapping enables to decrease traditional soil monitoring expenses.

Załączniki

Załącznik 1. Zestawienie wyników pomiarów terenowych podatności magnetycznej gleb na terenie Parku im. Powstańców Śl. w Zabrze

Numer punktu	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Średnia podatność magnetyczna κ ($\times 10^{-5}\text{SI}$)	Liczba pomiarów	Dominujący drzewostan
1	2	3	4	5	6
1	18,7524	50,2930	41,8	17	liściasty (brzoza, dąb)
2	18,7515	50,2919	30,7	14	liściasty (klon, dąb)
3	18,7545	50,2904	83,5	15	liściasty (topola)
4	18,7540	50,2877	56,5	16	liściasty (brzoza, klon)
5	18,7527	50,2884	50,7	15	liściasty (brzoza)
6	18,7512	50,2844	68,6	16	liściasty (brzoza, dąb)
7	18,7481	50,2838	51,9	16	liściasty (brzoza)
8	18,7452	50,2831	45,5	15	liściasty (brzoza)
9	18,7441	50,2847	26,9	15	liściasty (brzoza)
10	18,7479	50,2849	14,3	15	liściasty (olsza)
11	18,7501	50,2856	13,8	13	liściasty
12	18,7437	50,2812	64,3	17	liściasty (brzoza)
13	18,7553	50,2851	57,0	17	liściasty (klon, brzoza, robinia)
14	18,7582	50,2857	84,6	16	liściasty (brzoza, olsza)
15	18,7568	50,2874	45,0	16	liściasty (dąb, brzoza)
16	18,7840	50,2846	64,5	14	liściasty (brzoza, klon)
17	18,7786	50,2863	50,5	15	mieszany (jesion, sosna)
18	18,7800	50,2844	65,6	16	mieszany (brzoza, sosna, dąb)
19	18,7795	50,2817	11,8	11	darń
20	18,7831	50,2805	80,3	16	liściasty (olsza, dąb)
21	18,7858	50,2811	65,8	16	liściasty (dąb, brzoza)
22	18,7825	50,2777	46,3	19	liściasty (brzoza, dąb)
23	18,7800	50,2799	55,5	16	liściasty (dąb, brzoza)
24	18,7819	50,2826	40,4	15	liściasty (brzoza, dąb)
25	18,7487	50,2882	56,1	19	liściasty

1	2	3	4	5	6
26	18,7608	50,2919	50,3	18	liściasty
27	18,7572	50,2922	62,2	21	liściasty
28	18,7580	50,2910	56,4	15	liściasty
29	18,7595	50,2885	29,4	16	liściasty
30	18,7625	50,2893	41,4	19	liściasty
31	18,7660	50,2902	119,1	12	liściasty
32	18,7739	50,2895	49,5	16	liściasty
33	18,7709	50,2887	51,9	18	liściasty
34	18,7670	50,2879	43,2	20	liściasty
35	18,7651	50,2874	53,7	18	liściasty
36	18,7609	50,2867	41,6	16	liściasty
37	18,7618	50,2850	53,9	16	liściasty
38	18,7633	50,2830	43,0	15	liściasty
39	18,7652	50,2803	27,9	17	liściasty
40	18,7682	50,2809	43,9	15	liściasty
41	18,7661	50,2827	63,9	28	liściasty
42	18,7646	50,2857	38,2	26	mieszany
43	18,7674	50,2860	55,1	20	liściasty
44	18,7694	50,2845	41,2	18	mieszany
45	18,7726	50,2851	41,2	16	liściasty
46	18,7717	50,2870	35,3	18	liściasty
47	18,7735	50,2834	58,0	15	liściasty
48	18,7703	50,2814	49,9	16	liściasty
49	18,7684	50,2794	31,4	16	liściasty
50	18,7705	50,2792	37,2	15	liściasty
51	18,7745	50,2813	49,5	15	liściasty
52	18,7761	50,2790	52,8	16	liściasty
53	18,7822	50,2872	60,6	27	liściasty
54	18,7813	50,2890	50,1	16	liściasty
55	18,7794	50,2874	49,4	16	liściasty
56	18,7744	50,2875	64,1	18	liściasty
57	18,7628	50,2801	19,1	15	liściasty (brzoza)
58	18,7603	50,2791	30,1	16	mieszany (sosna, topola)
59	18,7572	50,2785	17,4	14	liściasty (brzoza, olsza)
60	18,7541	50,2778	31,7	19	liściasty (brzoza, dąb)
61	18,7527	50,2775	26,9	20	liściasty (brzoza, dąb)
62	18,7512	50,2791	34,8	16	liściasty (brzoza)
63	18,7479	50,2811	31,7	15	liściasty (dąb, brzoza)
64	18,7458	50,2808	40,3	12	liściasty (brzoza)
65	18,7518	50,2828	41,5	15	liściasty (dąb, brzoza)
66	18,7547	50,2829	66,2	20	liściasty (brzoza, jesion)
67	18,7582	50,2831	41,5	16	mieszany (sosna, dąb)
68	18,7580	50,2811	37,1	16	liściasty (brzoza, klon)
69	18,7549	50,2803	48,8	17	liściasty (buk, dąb, brzoza)
70	18,7570	50,2769	26,1	16	liściasty (dąb, klon)

1	2	3	4	5	6
71	18,7610	50,2778	33,0	16	liściasty (brzoza)
72	18,7638	50,2784	33,9	16	liściasty (dąb, brzoza)
73	18,7639	50,2756	28,1	19	liściasty (brzoza, dąb)
74	18,7623	50,2818	22,7	10	liściasty (brzoza)
75	18,7610	50,2837	37,3	16	liściasty (brzoza)

Załącznik 2. Zestawienie wyników pomiarów terenowych podatności magnetycznej gleb na terenie Parku im. E. Osmańczyka w Bytomiu

Numer punktu	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Średnia podatność magnetyczna $\kappa (\times 10^{-5}\text{SI})$	Liczba pomiarów	Dominujący drzewostan
1	2	3	4	5	6
1	18,8591	50,3708	57,7	31	liściasty (dąb)
2	18,8545	50,3741	56,9	29	mieszany
3	18,8603	50,3742	96,6	35	liściasty
4	18,8662	50,3739	83,6	22	mieszany
5	18,8484	50,3741	76,5	28	liściasty (brzoza, buk)
6	18,8488	50,3788	76,0	21	mieszany
7	18,8413	50,3793	56,9	26	liściasty
8	18,8361	50,3792	59,0	17	mieszany
9	18,8383	50,3824	69,9	26	mieszany
10	18,8443	50,3853	39,9	23	liściasty (buk)
11	18,8464	50,3823	59,4	37	mieszany
13	18,8554	50,3811	39,6	20	mieszany
14	18,8527	50,3778	45,2	18	liściasty
15	18,8667	50,3695	75,3	21	liściasty
16	18,8431	50,3712	110,2	23	liściasty (buk)
17	18,8400	50,3736	57,4	20	liściasty
18	18,8361	50,3700	103,5	19	mieszany
19	18,8288	50,3784	41,9	18	mieszany (świerk, dąb)
20	18,8325	50,3794	34,0	20	liściasty (dąb)
21	18,8220	50,3783	61,4	26	mieszany (świerk, dąb)
22	18,8229	50,3747	53,2	18	iglasty (sosna, świerk)
23	18,8256	50,3769	77,1	19	liściasty (dąb)
24	18,8163	50,3778	62,8	20	mieszany (świerk, brzoza)
25	18,8169	50,3740	63,5	17	liściasty (dąb)
26	18,8210	50,3715	75,3	19	liściasty (dąb, brzoza)
27	18,8354	50,3669	86,7	22	liściasty (brzoza, klon)
28	18,8304	50,3701	72,8	17	liściasty (dąb, grab)
29	18,8303	50,3660	55,9	20	liściasty (buk, dąb)
30	18,8216	50,3665	82,0	17	liściasty (buk, dąb)
31	18,8174	50,3679	88,8	18	liściasty (brzoza, buk)
32	18,8292	50,3621	40,0	20	iglasty (sosna, modrzew)

1	2	3	4	5	6
33	18,8236	50,3628	61,2	17	liściasty (lipa, dąb)
34	18,8358	50,3627	91,7	20	liściasty (buk, lipa)
35	18,8336	50,3580	83,2	22	liściasty (brzoza, buk)
36	18,8265	50,3589	91,1	17	liściasty (buk)
37	18,8233	50,3586	101,1	19	liściasty (buk, klon)
38	18,8189	50,3627	104,4	17	liściasty (buk, dąb)
40	18,8304	50,3544	100,1	31	liściasty (dąb, buk)
41	18,8289	50,3495	108,3	22	liściasty
42	18,8793	50,3741	60,4	32	liściasty
43	18,8788	50,3698	89,5	27	liściasty (klon, brzoza)
44	18,8754	50,3749	96,3	28	liściasty
45	18,8601	50,3783	42,4	21	mieszany
46	18,8679	50,3789	54,6	27	mieszany
47	18,8717	50,3824	55,6	26	mieszany
48	18,8669	50,3815	56,0	25	mieszany
49	18,8599	50,3862	61,8	13	liściasty
50	18,8633	50,3899	26,5	19	liściasty
51	18,8621	50,3826	33,0	20	mieszany
52	18,8294	50,3851	45,4	28	liściasty
53	18,8345	50,3885	48,8	22	mieszany
54	18,8392	50,3851	49,2	20	mieszany
55	18,8356	50,3915	41,5	22	mieszany
56	18,8477	50,3899	60,8	21	liściasty
57	18,8416	50,3943	36,7	18	mieszany
58	18,8419	50,3899	47,5	24	liściasty
59	18,8516	50,3851	53,3	16	mieszany
60	18,8532	50,3912	40,5	17	liściasty
61	18,8584	50,3891	36,3	15	mieszany
62	18,8667	50,3873	50,6	14	mieszany
63	18,8372	50,3952	40,8	14	mieszany
64	18,8359	50,3985	54,4	16	mieszany (świerk, brzoza)
65	18,8375	50,4024	29,4	23	mieszany
66	18,8343	50,4070	36,5	19	mieszany
67	18,8427	50,4025	34,6	19	mieszany
68	18,8473	50,4026	38,3	23	liściasty (buk)
69	18,8536	50,4025	44,3	17	mieszany
70	18,8504	50,4050	32,4	17	liściasty (buk)
71	18,8568	50,3953	51,9	17	liściasty (dąb, brzoza)
72	18,8522	50,3948	52,5	16	liściasty
73	18,8477	50,3940	60,5	17	mieszany
74	18,8416	50,3985	33,1	19	mieszany (świerk, buk)
75	18,8482	50,3979	42,3	15	mieszany
76	18,8552	50,4114	26,8	12	mieszany (świerk, brzoza)
77	18,8452	50,4156	34,9	16	mieszany (modrzew, dąb, klon)
78	18,8480	50,4087	67,0	15	mieszany (buk, świerk)
79	18,8437	50,4065	90,9	21	iglasty (świerk)

1	2	3	4	5	6
80	18,8425	50,4107	68,8	16	liściasty (buk)
81	18,8396	50,4114	62,7	20	mieszany (sosna, buk)
82	18,8280	50,4102	26,1	21	mieszany (sosna, dąb, świerk)
83	18,8273	50,4106	41,7	16	iglasty (świerk)
84	18,8180	50,4104	59,1	15	mieszany (sosna, buk)
85	18,8176	50,4057	33,9	15	iglasty (sosna)
86	18,8226	50,4050	25,3	15	mieszany (sosna, brzoza)
87	18,8224	50,4028	29,2	15	iglasty (świerk)
88	18,8305	50,4016	23,0	16	mieszany (sosna, brzoza)
89	18,8284	50,4062	46,6	18	iglasty (świerk, sosna)
90	18,8108	50,4109	19,8	16	liściasty (brzoza, dąb)
91	18,8051	50,4147	39,3	16	iglasty (świerk)
92	18,8036	50,4102	44,4	16	mieszany (sosna, buk)
93	18,8040	50,4071	40,4	15	mieszany (sosna, buk, dąb)
94	18,7984	50,4083	26,3	19	liściasty (brzoza, dąb)
95	18,7999	50,4060	37,2	15	liściasty (buk)
96	18,7979	50,4039	33,5	15	liściasty (dąb)
97	18,8049	50,4014	35,1	10	iglasty (świerk)
98	18,8086	50,4062	51,8	16	mieszany (brzoza, dąb, świerk)

Załącznik 3. Zestawienie wyników pomiarów terenowych podatności magnetycznej gleb na terenie Lasów Panewnicko-Kochłowskiich

Numer punktu	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Średnia podatność magnetyczna $\kappa (\times 10^{-5} \text{SI})$	Liczba pomiarów	Dominujący drzewostan
1	2	3	4	5	6
1	18,9585	50,2313	25,1	18	liściasty (brzoza)
2	18,9675	50,2362	51,2	14	liściasty
3	18,9576	50,2399	60,5	15	liściasty (brzoza, klon)
4	18,9613	50,2401	100,8	25	liściasty
5	18,9628	50,2429	101,5	15	mieszany (świerk, dąb, brzoza)
6	18,9692	50,2393	73,1	20	liściasty
7	18,9734	50,2406	61,1	15	liściasty
8	18,9721	50,2458	95,3	24	liściasty (dąb, brzoza)
9	18,9676	50,2433	53,8	17	liściasty (dąb, brzoza)
10	18,9671	50,2459	57,0	26	liściasty (dąb)
11	18,9612	50,2455	85,7	20	liściasty (dąb, buk)
12	18,9562	50,2472	72,9	20	mieszany (dąb, buk, sosna)
13	18,9575	50,2423	92,4	25	liściasty (dąb, buk)
14	18,9498	50,2461	79,0	27	mieszany (buk, sosna)
15	18,9451	50,2472	80,6	14	mieszany
16	18,9517	50,2434	79,6	22	liściasty (buk)
17	18,9505	50,2394	73,1	24	mieszany (dąb, buk, sosna)

1	2	3	4	5	6
18	18,9414	50,2435	60,3	19	mieszany
19	18,9429	50,2394	75,5	26	mieszany
20	18,9401	50,2463	36,1	19	liściasty
21	18,9393	50,2432	108,1	19	mieszany
22	18,9389	50,2390	38,3	16	mieszany
23	18,9390	50,2351	42,8	17	mieszany
24	18,9437	50,2370	34,7	18	mieszany
25	18,9400	50,2320	59,2	16	mieszany
26	18,9463	50,2331	59,3	17	liściasty
27	18,8826	50,2388	62,4	21	liściasty (dąb, klon, brzoza)
28	18,8827	50,2357	70,0	15	iglasty (sosna)
29	18,8880	50,2390	14,2	17	liściasty (dąb)
30	18,8906	50,2356	37,5	20	liściasty (lipa)
31	18,8878	50,2319	52,7	15	mieszany (sosna, dąb)
32	18,8837	50,2323	60,1	16	mieszany (dąb, sosna)
33	18,8999	50,2311	32,7	18	mieszany (modrzew, sosna, dąb)
34	18,8963	50,2320	36,4	15	mieszany (sosna, dąb)
35	18,9075	50,2272	35,8	15	iglasty (sosna)
36	18,9062	50,2353	80,9	17	liściasty (brzoza, dąb)
37	18,9109	50,2309	43,6	16	iglasty (sosna)
38	18,9064	50,2312	53,9	16	iglasty (świerk)
39	18,9198	50,2360	26,9	16	iglasty (sosna)
40	18,9167	50,2318	62,4	16	liściasty (dąb)
41	18,9227	50,2323	31,4	16	iglasty (sosna)
42	18,9222	50,2353	72,1	16	liściasty (dąb, buk)
43	18,9275	50,2318	90,1	21	liściasty (dąb, brzoza)
44	18,9347	50,2352	58,7	17	liściasty (dąb, brzoza)
45	18,9345	50,2315	61,4	15	iglasty (sosna)
46	18,9282	50,2374	36,1	16	mieszany (sosna, dąb)
47	18,9278	50,2400	72,2	17	mieszany (sosna, brzoza)
48	18,9278	50,2423	81,1	16	mieszany (dąb, sosna)
49	18,9225	50,2432	68,3	15	iglasty (sosna)
50	18,9223	50,2405	83,4	16	mieszany (sosna, dąb)
51	18,9173	50,2405	54,4	17	mieszany (sosna, dąb)
52	18,9166	50,2425	100,4	15	liściasty (buk, dąb)
53	18,9345	50,2432	97,6	16	liściasty (brzoza, jesion)
54	18,9335	50,2395	73,9	15	mieszany (sosna, dąb)
55	18,9290	50,2487	67,7	31	liściasty (dąb, brzoza)
56	18,9335	50,2505	75,7	17	liściasty (dąb)
57	18,9379	50,2497	102,4	17	liściasty (brzoza, dąb)
58	18,9402	50,2527	35,1	19	iglasty (świerk)
59	18,9499	50,2542	96,5	16	liściasty (brzoza)
60	18,9636	50,2545	67,8	16	liściasty (brzoza, dąb)
61	18,9633	50,2511	88,4	16	mieszany (buk, sosna, brzoza)
62	18,9519	50,2503	73,0	16	liściasty (dąb, brzoza)
63	18,9593	50,2513	91,0	17	liściasty (dąb)

1	2	3	4	5	6
64	18,9623	50,2583	116,9	18	liściasty (brzoza)
65	18,9568	50,2576	92,4	17	liściasty (buk)
66	18,9511	50,2570	33,8	21	liściasty (brzoza)
67	18,9579	50,2617	87,3	16	mieszany (brzoza, modrzew)
68	18,9583	50,2552	45,3	15	liściasty (brzoza, buk)
69	18,9678	50,2546	83,2	16	liściasty (brzoza, buk)
70	18,9640	50,2514	93,3	17	liściasty (buk, brzoza)
71	18,9723	50,2510	85,8	17	liściasty (dąb, brzoza)
72	18,9721	50,2532	93,8	17	liściasty (brzoza, dąb)
73	18,9420	50,2568	43,6	17	liściasty (topola)
74	18,8825	50,2489	97,2	25	liściasty (dąb)
75	18,8836	50,2430	66,0	20	liściasty (brzoza)
76	18,8894	50,2425	48,2	16	mieszany (dąb, świerk)
77	18,8917	50,2398	72,5	20	liściasty (brzoza)

Załącznik 4. Zestawienie wyników pomiarów terenowych podatności magnetycznej gleb na terenie Wojewódzkiego Parku Kultury i Wypoczynku w Chorzowie

Numer punktu	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Średnia podatność magnetyczna $\kappa (\times 10^{-5}\text{SI})$	Liczba pomiarów	Dominujący drzewostan
1	2	3	4	5	6
1	18,9655	50,2954	207,5	15	roślinność parkowa
2	18,9675	50,2936	271,8	17	roślinność parkowa
3	18,9660	50,2921	283,1	20	liściasty
8	18,9688	50,2897	133,2	16	darń
11	18,9747	50,2932	183,1	15	darń
12	18,9782	50,2951	159,5	17	liściasty
13	18,9777	50,2953	242,8	18	roślinność parkowa
14	18,9806	50,2974	80,2	17	liściasty
15	18,9865	50,2975	189,5	15	liściasty
16	18,9829	50,2960	109,6	15	liściasty
17	18,9810	50,2948	209,2	15	liściasty
18	18,9785	50,2938	80,9	16	roślinność parkowa
19	18,9771	50,2923	164,1	15	liściasty
20	18,9744	50,2911	165,5	16	darń
21	18,9691	50,2879	150,6	19	darń
22	18,9712	50,2863	75,9	15	darń
23	18,9733	50,2853	122,7	15	darń, krzaki
24	18,9759	50,2863	109,9	15	darń
25	18,9775	50,2901	123,8	17	darń
26	18,9789	50,2884	178,5	17	darń
27	18,9792	50,2913	169,2	15	liściasty

1	2	3	4	5	6
28	18,9810	50,2925	138,9	15	liściasty
29	18,9827	50,2932	193,6	16	liściasty
30	18,9840	50,2948	222,2	22	liściasty
31	18,9880	50,2955	135,6	16	liściasty
32	18,9893	50,2941	161,1	18	liściasty
33	18,9857	50,2936	144,5	19	liściasty
34	18,9845	50,2922	145,8	16	liściasty
35	18,9825	50,2913	114,8	15	liściasty
36	18,9808	50,2896	116,9	15	darń
37	18,9749	50,2839	107,5	15	darń
38	18,9772	50,2851	117,5	22	darń
39	18,9790	50,2864	129,4	16	liściasty
40	18,9815	50,2873	192,0	15	darń
41	18,9829	50,2886	142,1	15	liściasty
42	18,9846	50,2895	170,5	18	liściasty
43	18,9872	50,2912	139,4	21	liściasty
44	18,9890	50,2923	129,7	16	liściasty
45	18,9913	50,2933	160,5	17	liściasty
46	18,9928	50,2946	120,5	19	liściasty
47	18,9993	50,2965	126,6	15	liściasty
48	18,9950	50,2947	149,0	17	liściasty
49	18,9953	50,2924	134,4	20	liściasty
50	18,9936	50,2920	155,5	18	liściasty
51	18,9905	50,2909	106,0	15	liściasty
52	18,9890	50,2895	113,9	16	mieszany
53	18,9874	50,2889	109,3	17	iglasty (jodła)
54	18,9848	50,2875	139,3	15	liściasty
55	18,9829	50,2858	74,2	18	darń
56	18,9804	50,2853	160,4	14	darń
57	18,9787	50,2829	77,0	15	darń
58	18,9767	50,2827	147,3	17	liściasty
59	18,9789	50,2811	99,3	18	mieszany
60	18,9802	50,2815	167,5	16	darń
61	18,9833	50,2826	89,1	15	darń
62	18,9849	50,2844	73,3	15	liściasty
64	18,9887	50,2875	112,0	16	liściasty
65	18,9918	50,2885	132,6	17	liściasty
66	18,9929	50,2896	107,9	16	darń
67	18,9944	50,2909	127,1	17	iglasty (żywotnik, jodła)
68	18,9951	50,2925	114,4	14	liściasty
69	18,9982	50,2934	89,1	19	mieszany
70	19,0011	50,2950	137,2	14	liściasty
71	19,0028	50,2940	117,8	15	liściasty
72	19,0015	50,2932	99,0	16	liściasty
73	18,9985	50,2914	140,9	19	liściasty
74	18,9967	50,2894	75,5	17	liściasty

1	2	3	4	5	6
75	18,9915	50,2881	144,8	18	liściasty
78	18,9895	50,2843	78,7	15	liściasty
79	18,9870	50,2832	66,4	15	liściasty
80	18,9850	50,2820	102,3	16	darń
81	18,9827	50,2810	139,2	18	darń
82	18,9807	50,2800	127,1	18	liściasty
83	18,9832	50,2784	84,6	15	krzaki
84	18,9847	50,2800	124,8	17	liściasty
86	18,9879	50,2821	127,3	16	darń
90	18,9966	50,2869	71,5	15	liściasty
91	18,9989	50,2888	94,4	15	liściasty
92	19,0012	50,2898	91,2	14	darń
93	19,0024	50,2916	96,9	18	liściasty
94	19,0048	50,2924	111,3	19	liściasty
95	19,0021	50,2890	108,8	13	darń
96	18,9997	50,2875	97,4	16	liściasty
97	18,9990	50,2855	89,2	13	liściasty
101	18,9907	50,2807	98,9	15	darń
102	18,9897	50,2797	143,4	16	darń
103	18,9864	50,2785	109,8	17	liściasty
104	18,9848	50,2775	123,4	16	liściasty
107	18,9923	50,2794	164,4	15	darń
111	19,0001	50,2852	91,3	19	liściasty
112	19,0022	50,2857	122,5	17	liściasty
113	19,0042	50,2873	129,5	15	liściasty
114	19,0056	50,2888	130,1	16	liściasty
115	19,0019	50,2835	110,6	17	liściasty
116	19,0008	50,2822	98,3	16	liściasty
117	18,9987	50,2810	41,3	15	liściasty
118	18,9963	50,2794	43,0	17	liściasty
119	18,9948	50,2780	134,5	15	liściasty
128	18,9969	50,2767	89,2	19	liściasty
129	18,9978	50,2760	99,9	15	liściasty
130	18,9980	50,2780	76,7	19	liściasty
133	19,0021	50,2822	73,9	17	liściasty
12a	18,9731	50,2921	161,3	15	darń
75a	18,9950	50,2882	137,0	16	liściasty

Publikacja
dofinansowana przez



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach jest publiczną instytucją finansową, realizującą politykę ekologiczną województwa śląskiego. Realizując swoją misję, Fundusz koncentruje się na:
wspieraniu działań proekologicznych podejmowanych przez administrację publiczną, przedsiębiorców, instytucje i organizacje pozarządowe;
pozyskiwaniu i zarządzaniu środkami europejskimi ukierunkowanymi na ochronę środowiska i gospodarkę wodną.