dr Marzena Rachwał
Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska
Polskiej Akademii Nauk
Zakład Magnetyzmu Środowiska i Rekultywacji
ul. M. Curie-Skłodowskiej 34
41-819 Zabrze

AUTOREFERAT

PRZEDSTAWIAJĄCY OPIS OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO W POSTACI CYKLU 6 PUBLIKACJI POWIĄZANYCH TEMATYCZNIE

POD TYTUŁEM: ***ZASTOSOWANIE ZINTEGROWANYCH METOD MAGNETYCZNYCH I GEOCHEMICZNYCH DO IDENTYFIKACJI OBSZAROWYCH ZANIECZYSZCZEŃ GLEB SPOWODOWANYCH ODDZIAŁYWANIEM ZRÓŻNICOWANYCH ŹRÓDEŁ EMISJI PRZEMYSŁOWYCH***

ORAZ DOROBKU NAUKOWEGO

Zabrze 2018

Spis treści

1. Dane personalne…..……..…….. 5
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne…… 5
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych…….. 5
4. Wskazanie osiągnięcia……... 6
   a) tytuł osiągnięcia naukowego……..... 6
   b) lista publikacji ……..……... 6
   c) omówienie celu naukowego……..... 8
   Wprowadzenie…….....……..... 8
   Cel badawczy…….....……..... 10
   Obiekty i metody badawcze……..... 11
   Przestrzenny rozkład podatności magnetycznej gleby odzwierciedlający obszarowe zanieczyszczenie gleby…….....…….....……..... 15
   Identyfikacja obszarów anomalii magnetycznych…… 16
   Zależność między podatnością magnetyczną a wybranymi zanieczyszczeniami…….....……..... 18
   Rozkład pionowy podatności magnetycznej i głębokość migracji zanieczyszczeń w profilu glebowym.. 20
   Identyfikacja źródeł zanieczyszczenia gleby…… 21
   Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb…….….. 25
   Zagrożenie dla środowiska przyrodniczego i zdrowia ludzi…… 28
   Podsumowanie……..……... 30
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych……. 32
   Projekty naukowo-badawcze przed uzyskaniem stopnia doktora……. 33
   Publikacje naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora…….…….. 33
   Projekty naukowo-badawcze po uzyskaniu stopnia doktora……..……... 35
   Publikacje naukowe po uzyskaniu stopnia doktora……..……..... 37
   Konferencje naukowe ……..…….....……..……..…… 39
   Recenzje ……..…….....……..……..... 40
   Działalność organizacyjna……..……..... 40
   Nagrody……. 40
   Dane bibliometryczne…….....…...……..... 40
Wykorzystana literatura……... 40

1. Dane personalne

Imię i nazwisko: Marzena Joanna Rachwał

Nazwisko rodowe: Ferdyn

Telefon/E-mail: 500 069 599 / marzena.rachwal@ipis.zabrze.pl

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne

Nazwa: stopień doktora nauk technicznych

Dyscyplina: inżynieria środowiska

Specjalność: ochrona i rekultywacja gleb

Miejsce uzyskania: Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska

Data uzyskania: 15.12.2006

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Wpływ pyłowych imisji przemysłowych na kształtowanie anomalii magnetycznych i geochemicznych gleb leśnych w transekcie Jaworzno – Bukowno – Olkusz*

Promotor: prof. dr hab. inż. Zygmunt Strzyszcz

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Jerzy Drozd

prof. dr hab. inż. Jerzy Zwoździak

Nazwa: dyplom magistra ochrony środowiska

Specjalność: ochrona i rekultywacja gleb

Miejsce uzyskania: Uniwersytet Opolski, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii

Data uzyskania: 15.07.1996

Tytuł pracy magisterskiej: *Zawartość metali ciężkich (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni) w podłożu i roślinności wysokiej zwałowiska żużla hutniczego ZGH „Orzeł Biały" w Piekarach Śląskich*

Promotor: prof. dr hab. inż. Zygmunt Strzyszcz

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2000 – nadal: Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu, zajmowane stanowiska:

od 2016 pracownik badawczo-techniczny

2007 – 2016 adiunkt

2001 – 2006 asystent

2000 – 2001 pracownik inżynieryjno-techniczny

1996 – 2000 pobyt w Niemczech, kursy j. niemieckiego prowadzone przez Instytut Goethego

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Zastosowanie zintegrowanych metod magnetycznych i geochemicznych do identyfikacji obszarowych zanieczyszczeń gleb spowodowanych oddziaływaniem zróżnicowanych źródeł emisji przemysłowych

b) lista publikacji (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy):

Na osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego składa się cykl 6 publikacji naukowych powiązanych tematycznie (w tym dwóch monografii), opublikowanych w latach 2007-2017, o łącznym współczynniku oddziaływania **IF** (w roku opublikowania) **– 12,054 (pięcioletni IF: 15,079)** i wartości punktacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (w roku opublikowania) **– 142:**

[H1] Magiera T., Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland. Forest Ecology and Management, 2007, 248, 36-42. IF (2007): 1.579; pięcioletni IF: 3.387

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w zaplanowaniu kampanii pomiarowej, wykonaniu dużej części badań (udział w pomiarach terenowych, pobieraniu próbek i ich przygotowaniu do dalszych analiz oraz laboratoryjne pomiary podatności magnetycznej), opracowaniu wyników pomiarów (obliczenia matematyczne i statystyczne, graficzne opracowanie wyników – wykonanie map w programie ArcView i Surfer), pomocy w redagowaniu i formatowaniu publikacji zgodnie z wytycznymi czasopisma. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

[H2] Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Zastosowanie magnetometrii do monitoringu i oceny ekologicznej gleb na obszarach objętych wpływem emisji przemysłowych. Prace i Studia 2010, vol.78, 1-88.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w zaplanowaniu kampanii pomiarowej, wykonaniu dużej części badań (udział w pomiarach terenowych, pobieraniu próbek i ich przygotowaniu do dalszych analiz oraz laboratoryjne pomiary podatności magnetycznej), opracowaniu i interpretacji wyników badań (obliczenia matematyczne i statystyczne, graficzne opracowanie wyników – wykonanie map, tabel i wykresów), napisaniu i przygotowaniu monografii do druku wraz z projektem okładki i przeprowadzeniu jej przez cały proces wydawniczy (kontakt z redakcją, korekta pracy zgodnie z uwagami recenzentów i edytora). Prof. Z. Strzyszcz, będący kierownikiem projektu i współautorem publikacji, pomagał w interpretacji wyników i nadzorował cały proces wydawniczy. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

[H3] Rachwał M., Strzyszcz Z., Wpływ przemysłu koksochemicznego na podatność magnetyczną gleb oraz zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i metali ciężkich w glebach. Prace i Studia 2012, vol.81, 1-110.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na kierowaniu projektem badawczym, z którego wyniki zostały opublikowane w tej monografii; na zaplanowaniu badań wraz z harmonogramem i kosztorysem, a także na przeprowadzeniu całej kampanii pomiarowej, wykonaniu dużej części badań (udział w pomiarach terenowych, pobieraniu próbek i ich przygotowaniu do dalszych analiz oraz laboratoryjne pomiary podatności magnetycznej), opracowaniu i interpretacji wyników badań (obliczenia matematyczne i statystyczne, graficzne opracowanie wyników – wykonanie map, tabel i wykresów), napisaniu i przygotowaniu monografii do druku wraz z projektem okładki i przeprowadzeniu jej przez cały proces wydawniczy (kontakt z redakcją, korekta pracy zgodnie z uwagami recenzentów i edytora). Prof. Z. Strzyszcz jako współautor publikacji pomagał w interpretacji wyników i nadzorował cały proces wydawniczy. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

[H4] Rachwał M., Magiera T., Wawer M., Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemosphere 2015, 138, 863-873. IF (2015): 3.698; pięcioletni IF: 4.506

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na kierowaniu projektem badawczym, z którego wyniki zostały opublikowane w tym artykule; zaplanowaniu badań wraz z harmonogramem i kosztorysem, a także na przeprowadzeniu całej kampanii pomiarowej, wykonaniu dużej części badań (udział w pomiarach terenowych, pobieraniu próbek i ich przygotowaniu do dalszych analiz oraz laboratoryjne pomiary podatności magnetycznej), opracowaniu i interpretacji wyników badań (obliczenia matematyczne i statystyczne, graficzne opracowanie wyników – wykonanie map, tabel i wykresów, zastosowanie indeksów zanieczyszczeń), napisaniu i przygotowaniu publikacji do druku i przeprowadzeniu jej przez cały proces wydawniczy (korespondencja z redakcją, korekta pracy zgodnie z uwagami recenzentów i edytora, odpowiedzi na recenzje). Mój udział procentowy szacuję na 80%.

[H5] Rachwał M., Kardel K., Magiera T., Bens O., Application of magnetic susceptibility in assessment of heavy metal contamination of Saxonian soil (Germany) caused by industrial dust deposition. Geoderma 2017, 295, 10-21. IF (2016/2017): 4.036; pięcioletni IF: 4.163

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na kierowaniu projektem badawczym, z którego wyniki zostały opublikowane w tym artykule; wykonaniu części badań (laboratoryjne pomiary podatności magnetycznej), opracowaniu i interpretacji wyników badań (obliczenia matematyczne i statystyczne, graficzne opracowanie wyników – wykonanie części map, tabel i wykresów, zastosowanie indeksów zanieczyszczeń) napisaniu i przygotowaniu publikacji do druku i przeprowadzeniu jej przez cały proces wydawniczy (korespondencja z redakcją, korekta pracy zgodnie z uwagami recenzentów i edytora, odpowiedzi na recenzje). Mój udział procentowy szacuję na 70%.

[H6] Rachwał M., Wawer M., Magiera T., Steinnes E., Integration of soil magnetometry and geochemistry for assessment of human health risk from metallurgical slag dumps. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24, 26410-26423. IF (2016/2017): 2.741; pięcioletni IF: 3.023

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w realizacji części badań (udział w pomiarach terenowych, pobieraniu próbek i ich przygotowaniu do dalszych analiz oraz laboratoryjne pomiary podatności magnetycznej), opracowaniu i interpretacji wyników badań (obliczenia matematyczne i statystyczne, graficzne opracowanie wyników – wykonanie map, tabel i wykresów, zastosowanie indeksów zanieczyszczeń i ryzyka zdrowotnego), napisaniu i przygotowaniu publikacji do druku i przeprowadzeniu jej przez cały proces wydawniczy (korespondencja z redakcją, korekta pracy zgodnie z uwagami recenzentów i edytora, odpowiedzi na recenzje). Mój udział procentowy szacuję na 60%.

Powyższe publikacje powstały jako efekt projektów badawczych realizowanych w strukturze Zakładu Rekultywacji Terenów Poprzemysłowych (aktualnie: Zakładu Magnetyzmu Środowiska i Rekultywacji). Pełniłam w nich funkcję wykonawcy (H1-H2, H6) lub kierownika (H3-H5) i aktywnie uczestniczyłam w ich realizacji na wszystkich etapach: od koncepcji badań i pisania wniosku projektowego, poprzez pomiary terenowe, pobieranie próbek i prace laboratoryjne, a na opracowywaniu wyników i ich publikowaniu kończąc. W związku z tym, że badania miały charakter interdyscyplinarny, to do ich realizacji zaangażowany był zespół, dlatego też wszystkie publikacje są wieloautorskie, a mój udział w nich został dodatkowo zestawiony w poniższej tabeli:

Pozycja	Liczba punktów MNiSW w roku opublikowania	Impact factor w roku opublikowania	Procent udziału w publikacji
H1	32	1,579	30%
H2	-	-	60%
H3	-	-	80%
H4	35	3,698	80%
H5	45	4,036	70%
H6	30	2,741	60%
Razem	**142**	**12,054**	średnio: 63% /publikację

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania:

Wprowadzenie

W związku z intensywną industrializacją i urbanizacją, pojawił się problem zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego i w konsekwencji konieczność oceny i monitorowania jego poziomu. Najczęściej do tego celu wykorzystywano metody fizykochemiczne, dające jednoznaczne informacje, ale wymagające pobrania określonej liczby próbek i wykonania sporej ilości czasochłonnych i kosztownych analiz. W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku zaczęto poszukiwania metod badawczych, które w szybki i łatwo mierzalny sposób pozwoliłyby na określenie stanu środowiska przyrodniczego i poziomu zanieczyszczenia jego komponentów, w tym gleby. Dużą popularność zyskała metoda bioindykacji, wykorzystująca żywe organizmy wskaźnikowe, których obecność (nieobecność) i reakcja na czynniki środowiska może wskazywać na jego stan (Szmajda, 1994). Stosowanie tej metody ma jednak pewne ograniczenia. Dlatego, gdy w 1986 roku Thompson i Oldfield stwierdzili, że zanieczyszczone gleby i różnego rodzaju osady lądowe charakteryzują się specyficznymi właściwościami magnetycznymi, rozpoczęła się era tzw. magnetyzmu środowiska, rozumianego jako geofizyczne badania środowiskowe dotyczące oceny wpływu zmian klimatycznych, transportu osadów i pyłów kontynentalnych, a także różnego rodzaju zanieczyszczeń na własności magnetyczne minerałów, odzwierciedlające zmiany zachodzące w środowisku (Dekkers, 1997). Geofizyczne badania środowiskowe umożliwiają rozpoznanie właściwości fizycznych przypowierzchniowych warstw skorupy ziemskiej i zachodzących w nich procesów fizykochemicznych spowodowanych zarówno czynnikami naturalnymi, jak i działalnością człowieka (Grabowska, 2012). Geofizyczne techniki badawcze, pierwotnie stosowane w mineralogii i magnetycznych badaniach skał, znalazły zastosowanie w badaniach środowiska. Parametry magnetyczne (m.in. podatność magnetyczna, namagnesowanie, pozostałość magnetyczna, koercja magnetyczna, pętla histerezy) dostarczają informacji dotyczących rodzaju, ilości oraz rozmiaru cząstek magnetycznych w próbce. Ich zastosowanie pomaga przeanalizować m.in. naturalne procesy zachodzące w przyrodzie, takie jak wietrzenie i erozja gleb, sedymentację jeziorną oraz morską, a także określić pochodzenie cząstek magnetycznych (naturalne lub antropogeniczne) w glebach, osadach kontynentalnych i pyłach. Wszystkie substancje reagują na oddziaływanie zewnętrznego pola magnetycznego, jednak powszechnie występujące minerały żelazonośne są na nie szczególnie wrażliwe i reagują zmianami swoich właściwości magnetycznych. Do minerałów żelazonośnych zalicza się głównie tlenki i wodorotlenki żelaza

(magnetyt, maghemit, hematyt, ferryhydryt, getyt i lepidokrokyt) oraz siarczki Fe (pirotyn, gregit), których nawet śladowa ilość w badanym medium wpływa na wzrost sygnału magnetycznego. W ciągu ostatnich trzydziestu lat geofizyczne badania środowiska intensywnie się rozwinęły, znajdując zastosowanie w wielu dyscyplinach nauki, m.in. w paleoklimatologii, paleooceanografii, sedymentologii, archeologii i badaniach środowiska (m.in. Strzyszcz i in., 1988; Fine i in., 1992; Strzyszcz, 1995; Heller i in., 1998; Maher, 1998; Petrovský i Ellwood, 1999; Evans i Heller, 2003; Blundell i in., 2009; Jordanova i in., 2013; Maxbauer i in., 2016). W badaniach środowiska ważną rolę odgrywa magnetometria, najstarsza z metod geofizycznych (Grabowska, 2013), wykorzystująca metody magnetyczne w celu uzyskania informacji dotyczących mineralogii gleb (ang. soil magnetic mineralogy), ich geochemii, stopnia zanieczyszczenia, warunków oksydacyjno-redukcyjnych oraz procesów zachodzących w glebach, czyli kluczowych informacji dla rozwoju strategii zrównoważonego zarządzania glebami, a także dla praktyki rolniczej (Jordanova, 2016). Jednym z najczęściej wykorzystywanych parametrów magnetycznych jest niskopolowa podatność magnetyczna κ (tzw. objętościowa podatność magnetyczna), definiowana jako zdolność substancji do namagnesowania (M) pod wpływem przyłożonego (zewnętrznego) pola magnetycznego (H), będąca wielkością bezwymiarową. Stosunek wartości κ do gęstości objętościowej próbki wyznacza wartość masowej specyficznej podatności magnetycznej χ (ang. mass specific magnetic susceptibility) wyrażanej w m^3/kg.

Pioniersko metoda magnetometrii glebowej została wykorzystana do badania stanu zanieczyszczenia gleb na terytorium Austrii, Republiki Czeskiej, Niemiec i Polski w ramach projektu o akronimie MAGPROX (*Screening and monitoring of anthropogenic pollution over central Europe by using magnetic proxies*) finansowanego ze środków V Programu Ramowego Unii Europejskiej. Badania prowadzono z zastosowaniem tej samej metodyki i aparatury pomiarowej równocześnie we wszystkich krajach. Efektem realizacji badań w projekcie było zmierzenie i wykonanie map podatności magnetycznej gleb ww. graniczących ze sobą krajów, dopracowanie i uszczegółowienie metodyki pomiarowej, a także liczne publikacje (Schibler i in., 2002; Boyko i in., 2004; Maier i Scholger, 2004; Spiteri i in. 2005; Fialová i in., 2006; Magiera i in., 2006).

Zastosowanie magnetometrii do oceny stanu zanieczyszczenia gleb opiera się na fakcie, że w wyniku wysokotemperaturowych procesów przemysłowych paramagnetyczne związki żelaza zawarte w węglu i innych surowcach ulegają transformacji w związki ferrimagnetyczne, głównie tlenki, siarczki i wodorotlenki, stając się składnikami produktów, ale także emitowanych pyłów

przemysłowych, które w mniejszych bądź większych ilościach osiadają na powierzchni ziemi. Dzięki właściwościom ferrimagnetycznym możliwe jest stwierdzenie ich obecności w pyłach, glebach i osadach kontynentalnych przy zastosowaniu prostego i szybkiego pomiaru podatności magnetycznej. Oczywiście warunkiem wstępnym stosowania magnetometrii do oceny stopnia zanieczyszczenia gleby pyłami przemysłowymi jest znajomość charakterystyki magnetycznej niezanieczyszczonych gleb jako poziomu odniesienia, a także pyłów będących nośnikiem ładunku magnetycznego. Pyły przemysłowe, będąc nośnikiem cząstek magnetycznych zawierają w swoim składzie również znaczne ilości pierwiastków, m.in. metale ciężkie i metaloidy, które mogą być zaadsorbowane na powierzchni tych tzw. technogenicznych cząstek magnetycznych (TMPs) lub wprowadzone do ich sieci krystalicznej (Magiera i in., 2010; 2011; Catinon i in., 2014). Dlatego większość badań wykorzystujących podatność magnetyczną koncentrowała się również na analizie zawartości metali ciężkich w próbkach pyłów, wykazując istotne zależności korelacyjne między podatnością a zawartością analizowanych pierwiastków, zarówno w pyłach (Strzyszcz, 1993; Strzyszcz i Magiera, 1998; Spassov i in., 2004), jak i w glebach (H1-H5; Hanesch i Scholger, 2002; Matýsek i in., 2003, Jordanova i in., 2013; Zhu i in., 2013; Cao i in., 2015).

Cel badawczy

Celem osiągnięcia naukowego zatytułowanego *Zastosowanie zintegrowanych metod magnetycznych i geochemicznych do identyfikacji obszarowych zanieczyszczeń gleb spowodowanych oddziaływaniem zróżnicowanych źródeł emisji przemysłowych* było:

- - zbadanie przydatności i ograniczeń stosowania metody magnetometrii glebowej w różnych warunkach zanieczyszczenia środowiska, tzn. w rejonach o:
    a) różnym poziomie imisji przemysłowych,
    b) zróżnicowanych źródłach tych imisji,
    c) różnych sposobach zagospodarowania terenu;
- - określenie zasięgu przestrzennego anomalii magnetycznych, których wyznacznikiem są podwyższone wartości podatności magnetycznej, a także z reguły towarzyszących im anomalii geochemicznych, o których świadczą wysokie zawartości metali ciężkich (przekraczające wartości charakterystyczne dla tła geochemicznego danego obszaru);
- - określenie zależności między wartościami podatności magnetycznej gleby a zawartością wybranych substancji zanieczyszczających, głównie metali ciężkich (H1-H6), ale także

zanieczyszczeń organicznych, reprezentowanych przez wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) (H2-H4);

- - identyfikacja źródła zanieczyszczenia gleby na podstawie charakterystycznych wartości badanych parametrów oraz zależności między nimi (H4-H6);
- - ocena stopnia zanieczyszczenia gleb oraz potencjalnego stopnia zagrożenia dla środowiska przyrodniczego na podstawie obliczonych indeksów zanieczyszczeń (ang. contamination factor - CF, pollution load index - PLI, geoaccumulation index - Igeo, toxicity equivalent concentration - TEC) (H4-H6);
- - określenie potencjalnego zagrożenia dla zdrowia ludzi powodowanego spożywaniem grzybów i owoców runa leśnego zebranych na obszarach zanieczyszczonych (H2);
- - określenie potencjalnego niekancerogennego ryzyka zdrowotnego (HI - ang. hazard index) powodowanego kontaktem z zanieczyszczoną glebą oraz pylącym zwałowiskiem żużla hutniczego (H6).

Obiekty i metody badawcze

Obiektami badań przedstawionymi we wszystkich pracach były pyły przemysłowe i gleby. W większości były to gleby leśne, które z jednej strony, ze względu na nie zaburzony zabiegami agrotechnicznymi profil, są doskonałym medium umożliwiającym przeanalizowanie zmian podatności magnetycznej oraz zmienności zawartości badanych składników wraz z głębokością. Natomiast z drugiej strony, w przeciwieństwie do gleb użytkowanych rolniczo (w których w wyniku zabiegów agrotechnicznych następuje efekt rozcieńczenia sygnału magnetycznego i przemieszczenie zanieczyszczeń z wierzchniej warstwy gleby do poziomów niżej leżących), gleby leśne mają zdolność akumulacji deponowanych na powierzchni ziemi zanieczyszczeń, pełniąc dla nich rolę matrycy. Większość badań koncentrowała się głównie na obszarze województwa śląskiego, głównie w granicach Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP). Badane były gleby leśne, rolne, łąkowe, a także industrialne, będące pod bezpośrednim wpływem imisji przemysłowych. Obiektami badań w poszczególnych pracach były gleby:

- lasów i parków miejskich Zabrza (Park Powstańców Śl.), Chorzowa (WPKiW), Lasy Panewnicko-Kochłowickie w Katowicach i Rudzie Śl. oraz Park E. Osmańczyka w Bytomiu (H1, H2);
- rejonów oddziaływania koksowni w Zdzieszowicach, Zabrzu, Bytomiu, Dąbrowie Górniczej i Krakowie (H3, H4);

- pól zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zwałowiska odpadów poprzemysłowych po flotacji rud cynku i ołowiu w Piekarach Śl. (H6).

Obiektami badań były również gleby leśne, łąkowe, orne i miejskie z całej powierzchni Kraju Związkowego Saksonii (Niemcy) zgromadzone jako próbki archiwalne przez Saksoński Urząd Środowiska i Geologii (H5).

Pierwszym etapem większości prezentowanych badań było rozeznanie potencjalnych źródeł pyłowych emisji przemysłowych oraz zebranie kolekcji pyłów przemysłowych wytwarzanych przez te źródła. Kolejnym etapem były pomiary podatności magnetycznej (κ) *in situ* z zastosowaniem aparatury (magnetometr MS2/MS3 *Bartington* zintegrowany z systemem GPS umożliwiającym rejestrację współrzędnych geograficznych) i procedur pomiarowych wypracowanych w ramach ww. międzynarodowego projektu MAGPROX (Schibler i in., 2002). Oczywiście procedury te były dostosowywane do specyfiki badanych obszarów, tzn. form ukształtowania i użytkowania terenu, istniejącej infrastruktury komunalnej i przemysłowej oraz stopnia dostępności do badanych obiektów. W zależności od tych czynników pomiary prowadzono w regularnych siatkach pomiarowych (H1, H2, H6), bądź w transektach biegnących promieniście w stosunku do źródła emisji zanieczyszczeń do atmosfery (H3, H4). Jedynie badania gleb Saksonii (H5) oparte były na laboratoryjnych pomiarach 2600 archiwalnych próbek, które pobrane zostały w regularnej siatce pomiarowej 4×4 km, ze wszystkich występujących poziomów glebowych gleb leśnych, rolnych, łąkowych, a także gleb inicjalnych na zrekultywowanych terenach po eksploatacji węgla brunatnego (Oh, A i C). Dodatkowo, w celu określenia zagrożenia dla zdrowia ludzi, zebrane zostały owoce runa leśnego i grzyby jadalne rosnące na terenie lasów i parków miejskich GOP. Oznaczono zawartości wybranych metali w roślinach zbieranych i konsumowanych przez ludność rekreacyjnie korzystającą z tych terenów (H2). Wyniki magnetycznych pomiarów terenowych były zawsze podstawą do sporządzenia map przestrzennego rozkładu podatności magnetycznej gleby (w programie Surfer 8 na podkładzie map topograficznych z programu Google Earth) i wytypowania miejsc poboru próbek gleby do szczegółowych badań geochemicznych. Wykonano oznaczenia zawartości wybranych pierwiastków, głównie metali ciężkich metodą płomieniowej atomowej spektrometrii absorpcyjnej (H1-H5) lub spektrometrii mas sprzężonej z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (H6), a także wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych metodą chromatografii gazowej z detektorem spektrometrii mas (H2-H4). Należy zaznaczyć, że z wytypowanych miejsc pobierane były uśrednione, reprezentatywne próbki gleby (o wadze ok. 1 kg) lub też profile glebowe o nienaruszonej strukturze i długości 30 cm, a średnicy 3,5 cm (dwa z

każdego miejsca). Po przewiezieniu do laboratorium, w celu określenia pionowego rozkładu podatności magnetycznej i pośrednio głębokości migracji zanieczyszczeń, wzdłuż profili mierzona była podatność magnetyczna z rozdzielczością 1 cm przy użyciu czujnika MS2C *Bartington*. Uzyskane wyniki zostały następnie poddane analizie statystycznej (średnia, mediana, odchylenie standardowe, współczynnik korelacji, analiza głównych składowych) w programach Statistica i Excel. W większości prac obliczone zostały również wartości χ oraz współczynnika zależności częstotliwościowej podatności magnetycznej (χ_{fd}%) z następujących równań:

1) $\chi = \kappa / \rho$ (m^3/kg), gdzie κ jest objętościową podatnością magnetyczną (wyrażaną w bezwymiarowych jednostkach SI), natomiast ρ (kg/m^3) jest gęstością objętościową gleby umieszczonej w standardowym plastikowym naczynku o objętości 10 cm^3

2) $\chi_{fd}\% = (\chi_{lf} - \chi_{hf} / \chi_{lf}) \times 100\%$, gdzie χ_{lf} i χ_{hf} to wartości χ zmierzone odpowiednio w niskiej (0,46 kHz) i wysokiej (4,6 kHz) częstotliwości (Dearing, 1994).

Ponadto, w przypadku wyników przedstawionych w trzech ostatnich pracach (H4-H6) policzone zostały współczynniki stosowane do oceny stopnia zanieczyszczenia gleby, a mianowicie współczynnik zanieczyszczenia (CF), indeks ładunku zanieczyszczeń (PLI) oraz indeks geoakumulacji (Igeo).

CF został obliczony dla każdego badanego pierwiastka jako stosunek jego zawartości w próbce (C_{EL}) do zawartości charakterystycznej dla tła geochemicznego (B_{EL}):

3) $CF = C_{EL} / B_{EL}$

Na podstawie wartości CF, dla każdej próbki gleby obliczony został indeks PLI z następującej zależności:

4) $PLI = (CF_{EL1} \times CF_{EL2} \times CF_{EL3} \times \ldots\ldots \times CF_{ELn})^{1/n}$, gdzie $CF_{EL1} \ldots CF_{ELn}$ to współczynniki zanieczyszczenia obliczone dla wybranych pierwiastków (metali ciężkich).

Indeks geoakumulacji definiuje poniższa zależność:

5) $Igeo = \log_2 (C_{EL} / 1.5B_{EL})$, gdzie C_{EL} jest zawartością pierwiastka w próbce, a B_{EL} jego zawartością charakterystyczną dla tła geochemicznego, natomiast współczynnik 1,5 to poprawka z powodu oddziaływania litosfery.

Natomiast w celu określenia zagrożenia dla środowiska przyrodniczego spowodowanego zanieczyszczeniem gleby WWA obliczone zostało tzw. stężenie równoważnikowe toksyczności (TEC) ze wzoru:

6) $TEC = \Sigma C_n \times TEF_n$, gdzie C_n to zawartość danego WWA w próbce, a TEF_n oznacza potencjał rakotwórczy wyrażony przez współczynnik równoważnikowy toksyczności

(bezwymiarowy) określony przez Stanowy Departament Ekologii w Waszyngtonie dla każdego WWA i wynoszący od 0,001 do 1,0 (Dat i Chang, 2017; WSDE, 2007).

W przypadku określenia potencjalnego niekancerogennego ryzyka zdrowotnego (HI) powodowanego kontaktem z zanieczyszczoną glebą oraz pylącym zwałowiskiem żużla hutniczego, posłużono się ilorazem ryzyka (HQ), który oblicza się, dzieląc średnią dzienną dawkę pochłoniętej substancji (ADD) przez dawkę referencyjną (RfD) określoną (w mg/kg*dzień) przez USEPA (2014) dla As (0,0003), Cd (0,001), Hg (0,0003), Pb (0,035), Se (0,005), Tl (0,00001) i Zn (0,3):

7) HQ = ADD/RfD, przy czym całkowita wartość ADD jest sumą dawek substancji pochłoniętych różnymi drogami (ustną: ADD_I, wziewną: ADD_{Inh} i skórną: ADD_D)[1]

Indeks ryzyka zdrowotnego jest sumą ilorazów ryzyka obliczonych dla poszczególnych potencjalnie toksycznych substancji i w tym przypadku został obliczony ze wzoru:

8) $HI = \Sigma HQ = ADD_{As}/RfD_{As} + ADD_{Cd}/RfD_{Cd} + ADD_{Hg}/RfD_{Hg} + ADD_{Pb}/RfD_{Pb} + ADD_{Se}/RfD_{Se} + ADD_{Tl}/RfD_{Tl} + ADD_{Zn}/RfD_{Zn}$, przy czym wartość potencjalnego niekancerogennego ryzyka zdrowotnego powyżej jedności wskazuje na możliwość wystąpienia negatywnego efektu zdrowotnego, natomiast HI<1 oznacza akceptowalny poziom ryzyka zdrowotnego.

Przestrzenny rozkład podatności magnetycznej gleby odzwierciedlający obszarowe zanieczyszczenie gleby

Wartości podatności magnetycznej zmierzonej *in situ* w przypowierzchniowej warstwie gleby (0–5 cm) badanych obiektów wahały się w szerokim zakresie: od 7 do 1303 $\times 10^{-5}$ SI, przy czym najniższymi (7–50 $\times 10^{-5}$ SI) i jednocześnie najmniej zróżnicowanymi wartościami charakteryzowały się gleby rejonu oddziaływania Koksowni Zdzieszowice (H3, H4). Tak niskie

[1] $ADD_I = (C * IR * EF * ED*10^{-6})/(BW * AT)$

$ADD_{Inh} = (C * InhR * EF * ED)/(PEF*BW * AT)$

$ADD_D = (C * SA * AF *BF * EF * ED*10^{-6})/ (BW * AT)$, gdzie:

Symbol parametru	Wyjaśnienie	Przyjęta wartość
C	zawartość składnika w glebie	mg/kg
IR	dawka ustnego pochłonięcia*	100 mg/dzień
InhR	dawka gleby pochłonięta przy oddychaniu***	12,8 m^3/ dzień
EF	częstość kontaktu z glebą**	66 dni/rok
ED	długość kontaktu	20 lat
BW	masa ciała*	70 kg
PEF	cząsteczkowy wskaźnik emisji***	$1,36*10^9$ m^3/kg
AT	czas uśrednienia dawki	365 dni * ED
SA	powierzchnia skóry narażona na kontakt z glebą**	5700 cm^2 (1/3 całkowitej powierzchni skóry)
AF	wskaźnik przyczepności gleby**	0,07 mg/cm^2 dzień
BF	wskaźnik biodostępności*	0,1 (bezwymiarowy)

Źródło: *ATSDR 2004; **Kubicz 2014, ***Qing et al. 2015

wartości podatności magnetycznej są z reguły traktowane jako wartości odniesienia, charakterystyczne dla rejonów niezanieczyszczonych (Zawadzki i in., 2015; Jordanova, 2016). Natomiast najwyższe wartości κ (20–1303 $\times 10^{-5}$) odnotowano na obszarach uprzemysłowionych miast Górnego Śląska, będących pod wpływem oddziaływania koksowni i hut, często bezpośrednio ze sobą sąsiadujących (H3, H4). Rozkład podatności magnetycznej na poszczególnych obiektach, przedstawiony w publikacjach w graficznej formie (mapy rozkładu podatności magnetycznej) wskazywał na jej podwyższone wartości na obszarach, które przeważnie zlokalizowane były w sąsiedztwie zakładów przemysłowych, zwałowisk odpadów przemysłowych, ciągów komunikacyjnych oraz budynków mieszkalnych, w których źródłem ciepła były piece i przydomowe kotłownie opalane węglem kamiennym i drewnem. Z reguły, podatność magnetyczna gleby malała wraz z odległością od potencjalnego źródła emisji zanieczyszczeń. Badania prowadzone w transektach biegnących w różnych kierunkach od centralnie zlokalizowanych np. koksowni wykazały, że zasięg oddziaływania pyłów koksowniczych (wyznaczony pośrednio poprzez rozkład wartości κ) jest stosunkowo niewielki: 0,5–2 km od źródła emisji (H4). Dodatkowo, analizując zależność podatności magnetycznej od ilości opadających pyłów (na podstawie wieloletnich danych WSSE Katowice) można zauważyć pewne analogie, tzn. wartości χ były proporcjonalne do wartości opadu pyłu (np. rejon Koksowni Dębieńsko w zestawieniu z rejonem bytomsko-zabrzańskim, w których odnotowano średnioroczny opad pyłu odpowiednio 88 i 262 g/m^2/rok oraz średnią wartość χ dla badanych obszarów wynoszącą odpowiednio 89 i 296 $\times 10^{-8}$ m^3/kg; H3). W rejonach, w których nakłada się wiele różnorodnych źródeł emisji (ang. multi-source pollution) (rejon krakowskiej i dąbrowskiej koksowni, Lasy Panewnicko-Kochłowickie, gleby uprawne w Piekarach Śl.; H2, H3, H4 i H6) nie stwierdzono jednoznacznej zależności między podatnością magnetyczną a opadem pyłu. Istotną przyczyną takiego stanu rzeczy może być czas oddziaływania danego emitora (np. Koksownia Jadwiga działająca od 1884 r. i 50 lat od niej młodsza Koksownia Zdzieszowice; H3), a także czynniki środowiskowe, które również mogą mieć swój udział w kształtowaniu tzw. anomalii magnetycznych, do których zaliczyć należy: typ gleby i procesy pedogeniczne (Hanesch i in., 2007; Jordanova i in., 2011), pokrywę roślinną (rodzaj drzewostanu; Ferdyn i Strzyszcz, 2002), rodzaj skały macierzystej (Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu i pole w Piekarach Śl. z wapieniami i dolomitami kruszconośnymi w podłożu; H2; H6; Bourennane i in., 2003; Hanesch i in., 2007), czy też obecność artefaktów (Łukasik i in., 2015), często stwierdzana na terenach zurbanizowanych (Wojewódzki Park Kultury i Wypoczynku w Chorzowie – WPKiW; H2). Niebagatelny wpływ na przestrzenny rozkład podatności magnetycznej

ma siła i kierunek wiatrów oraz obecność barier (budynki, ściana lasu, ekrany akustyczne), powodujących zakłócenia w przepływie zanieczyszczonych mas powietrza i częściowo zatrzymujących je.

Identyfikacja obszarów anomalii magnetycznych

W prezentowanych badaniach pomiary magnetyczne służyły wyznaczeniu tzw. anomalii magnetycznych rozumianych jako obszary o podwyższonych wartościach podatności magnetycznej, z reguły przekraczające wartość 30–50 $\times 10^{-5}$ jednostek SI. Inaczej jest w przypadku anomalii geochemicznych, za które uważa się obszary o szczególnie wysokim nagromadzeniu pierwiastków (przekraczające wartości charakterystyczne dla tła geochemicznego danego obszaru – w przypadku anomalii o charakterze naturalnym lub wartości graniczne – w przypadku anomalii pochodzenia technogenicznego) (Lis i Pasieczna, 1995; Strzyszcz i Bednarek, 2004). Przy powyższych założeniach większość prezentowanych obszarów badań zlokalizowanych w rejonach o silnej antropopresji musiałaby zostać uznana za anomalie magnetyczne. Dlatego na potrzeby niniejszej pracy, przyjęto inną definicję anomalii magnetycznej, za którą uznano obszar o wartościach podatności magnetycznej przekraczającej pewną wartość graniczną odpowiadającą 150% wartości mediany podatności magnetycznej obliczonej dla wszystkich pomiarów z badanego obszaru (Schmidt i in., 2005; Jordanova i in., 2008). W tym kontekście, wartości graniczne podatności świadczące o występowaniu anomalii magnetycznej są różne dla każdego badanego obszaru:

- 26 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla rejonu Koksowni Zdzieszowice (H3, H4), przy czym 7% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 57 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla rejonu Koksowni Dębieńsko (H3), przy czym 23% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 62 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla rejonu Koksowni Radlin (H3), przy czym 21% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 68 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla Parku Powstańców Śl. w Zabrzu (H1, H2), przy czym 7% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 80 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu (H2), przy czym 17% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 93 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla rejonu Koksowni Przyjaźń (H3), przy czym 32% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;

- 102 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla Lasów Panewnicko-Kochłowickich (H1, H2), przy czym tylko 3% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 181 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla rejonu bytomsko-zabrzańskich koksowni (H3, H4), przy czym 33% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 186 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla WPKiW w Chorzowie (H2), przy czym 6% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 196 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla pola uprawnego w Piekarach Śl. (H6), przy czym 12% badanego obszaru to anomalia magnetyczna;
- 312 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla rejonu Koksowni Kraków (H3, H4), przy czym 27% badanego obszaru to anomalia magnetyczna.

Dla gleb Saksonii (H5), których podstawą badań były próbki archiwalne, również obliczona została wartość graniczna masowej podatności magnetycznej, która wynosiła 47 $\times 10^{-8}$ m^3/kg dla poziomu mineralnego gleb całego obszaru Saksonii, klasyfikując 27% badanego obszaru jako anomalię magnetyczną oraz 280 $\times 10^{-8}$ m^3/kg dla poziomu organicznego gleb leśnych Saksonii (23% powierzchni lasów charakteryzują anomalne wartości χ).

Odniesienie uzyskanych wyników do tak obliczonej, charakterystycznej dla konkretnego obszaru badań, wartości granicznej wydaje się bardziej uzasadnione niż porównywanie ich z danymi dotyczącymi obszarów uznawanych za niezanieczyszczone, ponieważ jak już wcześniej wspomniano podatność magnetyczna gleby zależy od wielu czynników związanych z konkretnym miejscem badań (podłoże geologiczne, wyniesienie obszaru badań, roślinność).

Sposobem na rozróżnienie antropogenicznego pochodzenia anomalii magnetycznej od geogenicznego jest zastosowanie tzw. metody różnicowej, opierającej się na założeniu, że wpływ antropopresji ujawnia się we wzmocnieniu magnetycznym wierzchniej warstwy gleby, a tym samym wyższymi wartościami podatności magnetycznej w tej warstwie gleby (topsoil) w stosunku do niżej położonego podglebia (subsoil). Gdy różnica podatności magnetycznej w tych poziomach przekracza 20 $\times 10^{-8}$ m^3/kg, świadczy to o antropogenicznym pochodzeniu anomalii, natomiast gdy jest poniżej (–20) $\times 10^{-8}$ m^3/kg, anomalia ma charakter geogeniczny (Hanesch i in., 2007). Oznacza to, że wartości różnicy podatności magnetycznej wierzchniej warstwy gleby i podglebia w przedziale od (–20) $\times 10^{-8}$ m^3/kg do 20 $\times 10^{-8}$ m^3/kg świadczą o braku jakiejkolwiek anomalii. Dzięki zastosowaniu powyższej metody znaczny obszar Saksonii (H5) został zaklasyfikowany jako obszar bez anomalii, a tylko w niektórych rejonach – tych najbardziej uprzemysłowionych zidentyfikowane obszary anomalii były głównie pochodzenia antropogenicznego.

Zależność między podatnością magnetyczną a wybranymi zanieczyszczeniami

Podatność magnetyczna jako parametr zależny od zawartości magnetycznych minerałów żelaza wykazuje pozytywną zależność korelacyjną z zawartymi w glebie pierwiastkami, głównie metalami ciężkimi (e.g. Jordanova i in., 2013; Kapička i in., 2008, 2011; Lourenço i in., 2014; Magiera i in., 2013b). W przypadku prezentowanego cyklu publikacji zależność taka została również stwierdzona, ale nie na wszystkich obszarach badawczych i nie dla wszystkich pierwiastków, kształtując się w następujących zakresach dla wybranych metali:

- Fe: (–0,20) – 0,89
- Mn: (–0,65) – 0,73
- Zn: (–0,23) – 0,93
- Pb: (–0,20) – 0,99
- Cd: (–0,26) – 0,97
- Cu: (–0,01) – 0,97
- Cr: (–0,15) – 0,91
- Ni: (–0,44) – 0,86
- Co: (–0,70) – 0,69.

Tak duże zakresy współczynników korelacji między podatnością magnetyczną i zawartością metali ciężkich wskazują na różnorodność powierzchni badawczych pod względem użytkowania terenu, rodzaju gruntu oraz źródeł w/w pierwiastków. Wartości tych współczynników mogą również być pomocne w określeniu stopnia zanieczyszczenia gleby pochodzenia technogenicznego, rodzaju i wielkości emisji przemysłowych i komunikacyjnych na poszczególnych obszarach badań. W rejonach silnie zurbanizowanych i uprzemysłowionych wartości χ najlepiej korelują z zawartością typowo antropogenicznych pierwiastków: Pb, Zn, Cd i Cu. Jednak na niektórych obszarach, gdzie dominującym źródłem tych pierwiastków nie jest przemysł, współczynniki korelacji są bardzo niskie, często ujemne. Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu (H2) jest takim właśnie obiektem, na którym stwierdzono ponadnormatywne zawartości metali ciężkich, ale ich obecność w glebach wynikała z budowy geologicznej tego obszaru, zdominowanej przez płytko zalegające utwory triasowe, wapienie i dolomity, bogate w rudy cynku, ołowiu i kadmu oraz towarzyszące im rudy miedzi. Zaskakująco niskie wartości współczynników korelacji między χ i wybranymi pierwiastkami uzyskano dla rejonów niektórych koksowni (Zdzieszowice, Radlin i Dębieńsko), w porównaniu do pozostałych obiektów tego typu (koksownie bytomsko-zabrzańskie, dąbrowska i krakowska). W rejonach, w których dominującym źródłem zanieczyszczenia są emisje związków organicznych (m.in. WWA z pyłów koksowniczych) i udział metali ciężkich w zanieczyszczeniu gleby jest nieistotny, metoda magnetometrii glebowej nie sprawdza się jako indykator zanieczyszczenia gleby. W przypadku rejonu śląsko-dąbrowskiego i krakowskiego koksownie

współwystępują z hutami i to obecność pyłów metalurgicznych bogatych w metale ciężkie przyczyniła się do uzyskania tak wysokich współczynników korelacji na tych obszarach oraz spowodowała wystąpienie anomalii magnetycznych. W przypadku gleb Saksonii (dla których skorelowane zostały wyniki pomiarów magnetometrycznych i analiz geochemicznych uzyskane dla każdego punktu gęstej siatki pomiarowej), współczynniki korelacji nie ujawniły wysokich współzależności między podatnością magnetyczną a zawartością analizowanych pierwiastków. Jednak po podzieleniu obszaru badań na mniejsze bardziej jednolite litologicznie strefy, a także przy uwzględnieniu sposobu użytkowania powierzchni ziemi, współczynniki korelacji (r) wzrosły, a najwyższe odnotowano dla żelaza, cynku i manganu w poziomie organicznym gleb leśnych, zwłaszcza w północno-zachodniej i południowo-wschodniej części tego landu (0,41–0,89) (H5). Wartości r między podatnością magnetyczną a zawartością miedzi i cynku w zakresie 0,55–0,64 charakteryzowały warstwę podglebia gleb leśnych i łąkowych Saksonii. Istotne i wysokie współczynniki korelacji stwierdzone zostały w wierzchniej warstwie gleby również w rejonie Piekar Śl. (0,61-0,97) dla następujących pierwiastków: Ag, As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Ge, Hg, Ni, Se, Sr, Tl i Zn (H6).

Metoda magnetometrii glebowej okazała się przydatna także do identyfikacji zanieczyszczeń organicznych, które w niezanieczyszczonych glebach występują w niewielkich stężeniach. Zawartość zanieczyszczeń organicznych w glebie jest wypadkową między ich ilością wprowadzaną do gleby wraz z pyłami atmosferycznymi (pochodzącymi głównie z przemysłu koksowniczego oraz transportu samochodowego), ściekami i kompostami a ilością usuwaną z gleby w wyniku biodegradacji (ulatniania i rozkładu chemicznego), pobierania przez rośliny i wymywania. Wyniki zawartości związków organicznych (WWA) w glebach oznaczone dla niektórych obiektów były bardzo wysokie (prace H2-H4), wielokrotnie przekraczając wartości dopuszczalne określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. poz. 1359) i obowiązujące w czasie prowadzenia badań. Dla celów porównawczych obliczone zostały sumy 16 WWA (określonych przez USEPA jako tzw. substancje priorytetowe, w większości o charakterze rakotwórczym) dla wszystkich badanych obiektów. Najwyższe zawartości WWA, zwłaszcza wysoce rakotwórczego benzo(a)pirenu oznaczono w glebach rejonu Koksowni Zdzieszowice (0,16–4,9 µg/g), przy sumie 16 WWA wahającej się w zakresie 1,6-101 µg/g (średnia dla całego rejonu badań 18,8 µg/g). W następnej kolejności najwyższymi zawartościami WWA charakteryzują się gleby następujących rejonów badań: bytomsko-zabrzańskie koksownie (5,9 µg/g), Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu

(5,3 µg/g), Lasy Panewnicko-Kochłowickie (5,2 µg/g), Park Powstańców Śl. w Zabrzu (4,5 µg/g), Koksownia Kraków (4,1 µg/g), Koksownia Radlin (3,8 µg/g), Koksownia Dębieńsko (3,3 µg/g) i Koksownia Przyjaźń (2,0 µg/g).

Rozkład pionowy podatności magnetycznej i głębokość migracji zanieczyszczeń w profilu glebowym

Pyłowe zanieczyszczenia przemysłowe, deponowane na powierzchni ziemi w ciągu dziesięcioleci oddziaływania przemysłu, w mniejszym bądź większym stopniu przedostają się do niższych poziomów profilu glebowego, stanowiąc tym samym potencjalne zagrożenie dla wód podziemnych. Rozkład podatności magnetycznej w profilu glebowym może pośrednio świadczyć o głębokości występowania magnetycznych minerałów żelaza i współwystępujących z nimi metali ciężkich i metaloidów. Analizując rozkład pionowy podatności magnetycznej wyróżnionych zostało kilka charakterystycznych typów profili glebowych, różniących się wartością i głębokością występowania wzmocnienia magnetycznego, czyli poziomów z najwyższymi wartościami podatności magnetycznej. Wpływ pyłowych zanieczyszczeń zatrzymywanych w glebach powodował gwałtowny wzrost wartości κ na głębokości poziomu organicznego gleb leśnych (3–5 cm), a następnie spadek nawet do wartości bliskich zeru, utrzymujący się do głębokości 30 cm (H1; H3; Blaha i in., 2008; Fialová i in., 2006; Magiera i in., 2006). Wartość piku magnetycznego odpowiadała poziomowi zanieczyszczenia gleby i wynosiła od 20 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla rdzenia (oznaczonego symbolem h) pobranego w południowej części Parku Powstańców Śl. w Zabrzu (H1) do ponad 500 $\times 10^{-5}$ jednostek SI dla kilku rdzeni z rejonów oddziaływania koksowni na terenie GOP (H3). Większość rdzeni glebowych cechowała się bardzo wysokim gradientem podatności od zera do wartości maksymalnych na przestrzeni zaledwie kilku centymetrów głębokości. W niektórych przypadkach sygnał magnetyczny był bardziej rozmyty, tzn. podatność magnetyczna łagodnie wzrastała do poziomu maksymalnego i równie łagodnie malała na przestrzeni 10, a nawet 15 cm, świadcząc o wymywaniu magnetycznych minerałów żelaza i związanych z nimi metali ciężkich spowodowanym najczęściej specyficznymi lokalnymi warunkami środowiskowymi (np. większa miąższość poziomu organicznego, czy też niski odczyn gleby zwiększający mobilność zanieczyszczeń). W przypadku pól uprawnych w rejonie Piekar Śl. (H6) większość rdzeni cechował niezaburzony przebieg wartości podatności magnetycznej spowodowany wymieszaniem ornej warstwy gleby w wyniku zabiegów agrotechnicznych (Magiera i in., 2006), przy czym wartości podatności w tych rdzeniach były wysokie (50-200 $\times 10^{-5}$ jednostek SI).

Badania przedstawione w niniejszym cyklu publikacji oraz opublikowane przez innych autorów (Zawadzki i in., 2004; 2008; Strzyszcz i in., 2006; Bućko i in., 2010) potwierdziły, że na głębokościach występowania maksymalnej wartości κ odnotowano również najwyższe zawartości pierwiastków (Pb, Zn, Cd), które wykazywały jednocześnie istotne zależności korelacyjne z podatnością magnetyczną oraz podobny rozkład w profilu glebowym.

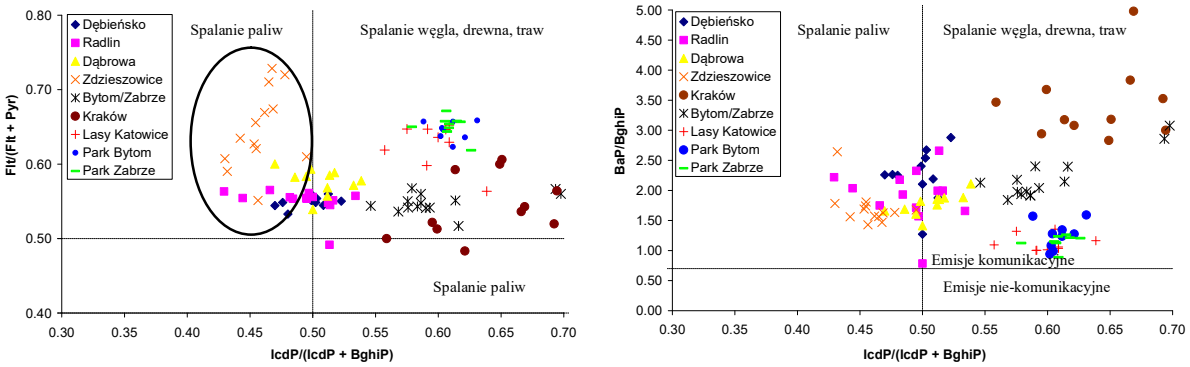
Identyfikacja źródeł zanieczyszczenia gleby

Mapy rozkładu przestrzennego podatności magnetycznej badanych obszarów (z założenia potencjalnie zanieczyszczonych), zintegrowane z mapami topograficznymi, wyznaczają lokalizację miejsc o jej anomalnych wartościach, wskazując często na prawdopodobne źródło zanieczyszczenia. Anomalie magnetyczne najczęściej mają przebieg gradientowy, tzn. najwyższa podatność magnetyczna obserwowana jest w pobliżu potencjalnego źródła emisji zanieczyszczeń i maleje w miarę wzrostu odległości od niego. Gargiulo i współautorzy (2011) dzięki zastosowaniu modelu rozpraszania atmosferycznego (model Gaussa) wykazali, że duże cząstki (>20 μm), opadają najbliżej źródła emisji, natomiast mniejsze cząstki (<20 μm), zgodnie z modelem Gaussa, w stabilnych warunkach atmosferycznych są deponowane w odległości ok. 2000 m. Tego typu interpretacja wydaje się łatwa, ale ograniczona jest tylko do rejonów, w których występuje jakieś jedno dominujące źródło zanieczyszczające badaną glebę. W przypadku większości obiektów prezentowanych w cyklu publikacji współwystępuje wiele źródeł emitujących zanieczyszczenia, powodując, że mierzony sygnał magnetyczny jest wynikiem nagromadzenia cząstek magnetycznych pochodzących z różnych procesów. W takiej sytuacji identyfikacja źródła zanieczyszczeń jest mocno utrudniona i wymaga zastosowania dodatkowych analiz oraz obliczeń matematycznych i statystycznych. Najczęściej stosowana jest analiza korelacji oparta na wyznaczeniu współczynników korelacji między podatnością magnetyczną gleby a zawartością badanych pierwiastków oraz między poszczególnymi pierwiastkami. W badaniach opartych na magnetometrii i analizach geochemicznych przyjmuje się, że wysokie (pow. 0,5) i statystycznie istotne współczynniki korelacji wskazują na wspólne źródło pochodzenia korelujących ze sobą elementów (Cao i in., 2015; Jordanova i in., 2013; Wawer i in., 2015). Technogeniczne cząstki magnetyczne są produktem prawie wszystkich wysokotemperaturowych procesów technologicznych, ale rodzaj i ilość emitowanych pierwiastków zależy od źródła emisji (Magiera i in., 2013a). Na przykład pierwiastkami typowymi dla metalurgii są: Pb, Cu, Cd, Zn i Hg (Yuan i in., 2014); dla spalania węgla: As, Pb, Mn, Cr, Cu i Ni (Mardon i in., 2008; Zajusz-Zubek i

Konieczyński, 2014); a dla źródeł miejskich (zdominowanych przez emisje z ruchu kołowego): Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb i Zn (Apeagyei i in., 2011; Carrero i in., 2013; Wawer i in., 2015). Dodatkowo, zanieczyszczenia pochodzące z emisji przemysłowych i komunikacyjnych charakteryzują się spadkiem zawartości wraz z głębokością profilu glebowego. Wyjątkiem są obszary o niskim odczynie gleb, powodującym wzrost mobilności niektórych metali ciężkich i ich migrację do niższych poziomów glebowych. Również w przypadku występowania anomalii o charakterze geogenicznym spowodowanej występowaniem w podłożu skał naturalnie wzbogaconych w rudy metali związane z frakcją ferromagnetyczną (np. łupki, skalenie i bazalty) obserwuje się wyższe wartości podatności magnetycznej w podglebiu niż w wierzchniej warstwie gleby oraz jej korelacje z Cu, Zn, a w niektórych rejonach także z Fe, Mn, Ni i Pb (0,42-0,60 dla gleb północnej Saksonii, H5). Bardzo przydatna w rozróżnieniu źródeł anomalii magnetyczno-geochemicznych jest oparta na obliczeniach statystycznych metoda czynnikowa (PCA), która została zastosowana na obiekcie w Piekarach Śl. (H6), i która wykazała istnienie dwóch głównych źródeł całkowitego ładunku zanieczyszczeń zarówno dla wierzchniego poziomu gleby (0-5cm), jak i podglebia (<15 cm). Pierwszy czynnik (odpowiadający za 70% wariancji wierzchniego poziomu gleby i 83% podglebia) zawiera podatność magnetyczną, PLI oraz większość pierwiastków (Ag, As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Ge, Hg, Ni, Se, Sr, Tl i Zn), będących materiałem budującym hałdę. Na drugi czynnik (odpowiadjący za 16% i 10% wariancji odpowiednio dla wierzchniego poziomu gleby i podglebia) składają się głównie Cr, Pb i V, które można powiązać z emisjami samochodowymi: Cr może pochodzić z okładzin szczęk hamulcowych, oleju silnikowego oraz ścierania nawierzchni drogi (Wiseman i in., 2015; Wang i in., 2017), natomiast Pb i V z emisji z rur wydechowych, a także spalania ciężkiego oleju napędowego (Wilhelm et al. 2012; Çolak et al. 2016).

Źródła zanieczyszczeń, zwłaszcza organicznych (WWA) można zidentyfikować i rozgraniczyć, biorąc pod uwagę ich masę cząsteczkową, ilość pierścieni benzenowych oraz proporcje między zawartością konkretnych WWA (Simon i Sobieraj, 2006; Tobiszewski i Namieśnik, 2012). W przypadku badań oddziaływania przemysłu koksowniczego na stopień zanieczyszczenia gleb (H3, H4), w rejonach wszystkich koksowni największy udział miały 4-pierścieniowe WWA (ok. 40%), a najmniejszy 6-pierścieniowe WWA (ok. 10–13%), natomiast udział pozostałych WWA był zróżnicowany: 2,3- pierścieniowe WWA w największej ilości występowały w glebach rejonu Zdzieszowic (prawie 30%), a 5-pierścieniowe WWA dominowały w rejonie krakowskim (prawie 40%). Fluoranten, benzo(b)fluoranten, piren, benzo(a)piren, chryzen i indeno(1,2,3-c,d)piren uważane są za WWA pochodzące ze spalania paliw kopalnych (Zhu i in., 2014). Ich udział w

całkowitej zawartości 16 WWA wynosił odpowiednio dla rejonów koksowni w Zdzieszowicach, Radlinie, Dębieńsku, Zabrzu i Bytomiu, Dąbrowie Górniczej i Krakowie: 53–74%, 30–59%, 37–58%, 65–81%, 36–50% i 64–84%. Z danych literaturowych wynika, że typowym wskaźnikiem produkcji koksu w zanieczyszczeniu WWA jest wysoka zawartość naftalenu, fluorantenu, indeno(1,2,3-c,d)pirenu oraz benzo(g,h,i)perylenu, która w przypadku badanych gleb wokół koksowni wynosiła 20-30% sumy wszystkich WWA (jako średnia sumy tych WWA dla danego obiektu). Na potrzeby niniejszego opracowania, przeliczone zostały również wyniki zawartości WWA w glebach parków i lasów miejskich (H2) i zasadniczo udział tych diagnostycznych WWA w sumie WWA był na tych obiektach porównywalny z wynikami uzyskanymi dla gleb wokół koksowni. Stąd też lepszymi parametrami wskazującymi na pochodzenie WWA w glebie wydają się być tzw. diagnostyczne stosunki poszczególnych WWA lub też ich sum zestawione na wykresach, a mianowicie: IcdP/(IcdP + BghiP) do Flt/(Flt + Pyr), a także IcdP/(IcdP + BghiP) do BaP/BghiP (Maliszewska-Kordybach i in., 2008; Tobiszewski i Namieśnik, 2012). Takie zestawienie wyników uwidacznia różnice między poszczególnymi obiektami badań (zestawionymi na potrzeby niniejszego opracowania na Rysunku 1). Na poniższych wykresach widać wyraźnie, że próbki z parków i lasów miejskich tworzą jeden klaster, będący pod wpływem emisji komunikacyjnych, gleby wokół koksowni w Radlinie, Dębieńsku i Zdzieszowicach – kolejny, charakterystyczny i typowy dla emisji związanych z przemysłem koksowniczym, natomiast gleby z okolic krakowskiej i bytomsko-zabrzańskich koksowni – trzeci klaster, leżący w strefie związanej ze spalaniem węgla, drewna, trawy i innych paliw.



Rysunek 1. Stosunki diagnostyczne służące identyfikacji źródeł WWA w glebach parków i lasów miejskich (Park Bytom, Park Zabrze, Lasy Katowice) oraz rejonów koksowni (Zdzieszowice, Radlin, Dębieńsko, Zabrze i Bytom, Dąbrowa Górnicza and Kraków)

Prezentowane badania wykazały, że stosunek: IcdP/(IcdP+BghiP) o wartości między 0,4 i 0,5 oraz Flt/(Flt+Pyr) między 0,55 i 0,75 są charakterystyczne dla procesu produkcji koksu jako źródła

zanieczyszczenia gleby WWA. Powyższe zestawienie potwierdza różnice, jakie występują między rejonami, gdzie koksownie stanowią główne i dominujące źródło emisji (Zdzieszowice, Dębieńsko, Radlin) a rejonami, gdzie współwystępują one z zakładami metalurgicznymi (Kraków, Bytom, Zabrze).

Parametrem magnetycznym często stosowanym w badaniach magnetyzmu środowiska i magnetyzmu skał, pomocnym w rozróżnieniu naturalnego (pedogenicznego) od litologicznego i antropogenicznego pochodzenia cząstek magnetycznych, jest współczynnik zależności częstotliwościowej podatności magnetycznej (χfd%), którego wartość powyżej 10%, przy podwyższonych wartościach podatności magnetycznej wskazuje na obecność ziaren superparamegnetyków (SP), czyli drobnych cząstek (nanocząstek) ferrimagnetycznych (Thompson i Oldfield, 1986; Dearing i in., 1996; Maher, 1998; Evans i Heller, 2003; Liu i in., 2012). Powstają one w procesie pedogenezy i najczęściej występują jako nano- i mikroziarna magnetytu lub maghemitu, różniąc się od gruboziarnistych frakcji magnetycznych powstających w procesach tworzenia skał, które wykazują cechy multidomen magnetycznych. Wg skali opracowanej przez Dearing'a (1999) wskaźnikiem obecności SP w próbce jest wartosć χfd% w przedziale: 10-14%, χfd% >75% wskazuje, że SP dominują w składzie, natomiast χfd% w zakresie 2-10% świadczy o domieszce SP i jej współwystępowaniu z grubszymi frakcjami magnetycznymi. Wartość χfd% poniżej 2% to brak ziaren SP, a tym samym procesów pedogenezy. W badaniach opisanych w cyklu publikacji wartość χfd% wahała się w na tyle wąskich zakresach, że w większości przypadków nie była ona przedmiotem rozważań. Jedynie w glebach Saksonii (H5), dla ok. 14% próbek z poziomów mineralnych zaobserwowano większy zakres wartości χfd%: 5-9%. Jednak tylko w przypadku kilku próbek tym wartościom odpowiadały również wysokie wartości podatności magnetycznej (>100 $\times 10^{-8}$ m^3/kg), sugerując pewien udział ziaren SP w próbkach. Jakkolwiek, wyniki wskazują raczej na antropogeniczne pochodzenie minerałów ferrimagnetycznych i obecność cząstek multidomenowych w górnych warstwach gleby. Analizując wyniki χfd% w podglebiu, stwierdzono podobne wartości, jednak w przypadku próbek z χfd% powyżej 5%, leżących głównie w rejonach górzystych Saksonii (Ore Mountain/Vogtland i Meissen Massif), na które bezpośredni wpływ imisji przemysłowych można wykluczyć, wartości te mogą być indykatorem obecności w podglebiu ultradrobnych superparamagnetycznych ziaren magnetytu i/lub maghemitu pochodzenia pedogenicznego. Taki wniosek wydaje się słuszny, zwłaszcza w świetle badań gleb prowadzonych w południowej części Niemiec, w których, w poziomie wzbogacenia Bw (na głębokości 25-50 cm)

gleb brunatnych stwierdzono podobne wartości i obecność bardzo drobnego magnetytu wyprodukowanego pozakomórkowo przez bakterie (Hanesch i Petersen, 1999).

Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb

Oceny stopnia zanieczyszczenia gleb (np. metalami ciężkimi, WWA) można dokonać na wiele sposobów, przy czym jednoznaczna ocena może nastręczać pewne problemy i wątpliwości. Najczęściej stosowanym sposobem oceny jest odniesienie wyników badań do pewnych wartości referencyjnych, które w wielu krajach są prawnie usankcjonowane jako tzw. liczby graniczne, których przekroczenie świadczy o wystąpieniu zanieczyszczenia. W przypadku prezentowanych prac, do oceny stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi oraz WWA wykorzystano wartości graniczne obowiązujące do września 2016 roku (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi; Dz.U. poz. 1359), a w sytuacji, gdy ekstrahentem w analizie na zawartość metali ciężkich był 2-molarny kwas azotowy wartości graniczne określone przez Szwajcarską Agencję Środowiska, Lasów i Krajobrazu (Desaules i in., 2001)[2]. Analizując otrzymane wyniki, stwierdzone zostały przekroczenia dopuszczalnych wartości dla większości badanych obiektów, ale głównie dla Cd, Pb i Zn. Gleby obszaru koksowni dąbrowskiej, krakowskiej i bytomsko-zabrzańskich, Parku im. Osmańczyka w Bytomiu, Lasów Panewnicko-Kochłowickich i WPKiW (H2-H4) charakteryzują się przekroczeniami zawartości tych trzech składników praktycznie na całej powierzchni badań. Natomiast na terenie Parku Powstańców Śl. w Zabrzu (H2) przekroczenia dotyczą głównie ołowiu i kadmu (ponadnormatywna zawartość cynku wystąpiła w 27% próbek), podczas gdy na pozostałych obiektach przekroczenia stwierdzono jedynie w kilku próbkach i dotyczyły one ołowiu w rejonie dwóch koksowni: Zdzieszowice i Radlin, a cynku i kadmu – w rejonie Koksowni Dębieńsko. Gleby będące pod wpływem emisji z hałdy odpadów żużla po flotacji rud cynku i ołowiu w Piekarach Śl. (H6), wykazują ekstremalne zawartości większości badanych pierwiastków, wielokrotnie przekraczające ww. normy. W przypadku gleb Saksonii (H5), dla których medium ekstrahującym

[2] Liczby graniczne zawartości metali ciężkich w glebach ($mg \cdot kg^{-1}$) określone przez Szwajcarską Agencję Środowiska, Lasów i Krajobrazu (Desaules i in., 2001), Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. poz.1359) oraz aktualnie obowiązujące Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. poz. 1395)

Ekstrahent	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
2M HNO_3 (Desaules i in., 2001)	-	-	0,8	50	40	0,5	5	50	50	150
woda królewska (Dz.U. poz.1359)	20	200	4	150	150	2	10	100	100	300
woda królewska (Dz.U. poz.1395) - wartości zróżnicowane w zależności od grupy i podgrupy gruntu (I, II-1, II-2, II-3, III, IV)	10-100	200-1500	2-15	150-1000	100-600	2-30	10-250	100-500	100-600	300-2000

była mieszanka kwasów $HClO_4$, HNO_3 i HF, a także gleb wokół koksowni (H4) i w rejonie piekarskiej hałdy (H6) oceny stopnia zanieczyszczenia gleb dokonano na podstawie obliczonych indeksów: zanieczyszczenia (CF), ładunku zanieczyszczeń (PLI) i geoakumulacji (Igeo), przy których obliczeniu uwzględnia się poziom tła geochemicznego badanego obszaru i które są parametrami bardziej „obiektywnymi", klasyfikującymi obiekty w zależności od wartości indeksu na kilka stopni (poziomów) zanieczyszczenia[3]. CF i Igeo różnicują poziom zanieczyszczenia konkretnymi pierwiastkami, natomiast przy obliczaniu PLI uwzględnia się te pierwiastki, które stanowią potencjalne zagrożenie na danym obszarze (najczęściej Zn, Cd i Pb). W przypadku prezentowanych badań, do obliczenia PLI w pracy H4 wzięto pod uwagę zawartości Cd, Pb i Zn, czyli pierwiastków, dla których występują przekroczenia; w pracy H5: As, Cd, Cu, Ni, Pb i Zn; natomiast w pracy H6 – aż 12 pierwiastków (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ge, Hg, Pb, Se, Tl i Zn), dla których wartość Igeo była wyższa niż 1 (świadcząc o co najmniej umiarkowanym poziomie zanieczyszczenia).

Na podstawie wartości CF aż 30% gleb leśnych Saksonii (ich poziom organiczny, w którym najczęściej kumuluje się większość zanieczyszczeń) zaklasyfikowano[3] jako bardzo zanieczyszczone ołowiem, a ponad 20% ich powierzchni – miedzią. Również poziom zanieczyszczenia arsenem był bardzo wysoki (13% powierzchni gleb leśnych) lub znaczny (26% powierzchni gleb leśnych). Niewielki procent obszaru gleb leśnych charakteryzował się w poziomie mineralnym znacznym zanieczyszczeniem Cd, Cu i Zn, a gleb użytkowanych rolniczo – Cu, Ni, Pb i Zn. Natomiast ponad 90% gleb Saksonii wykazywała niskie lub co najwyżej średnie zanieczyszczenie wszystkimi pierwiastkami w tym poziomie. Podobnie sklasyfikowane zostały gleby Saksonii przy zastosowaniu indeksu geoakumulacji, który wykazał, że najbardziej zanieczyszczonym poziomem genetycznym gleby jest poziom organiczny z następującą kolejnością elementów: Pb>Cu>As>Zn ≈ Ni>Cd. Pod względem zawartości Cd, Fe, Mn i Ni około 80% próbek klasyfikowała się jako praktycznie niezanieczyszczone lub średnio zanieczyszczone, a tylko 2-3% próbek z poziomu organicznego gleby uznano jako silnie zanieczyszczone (klasa 3), podczas gdy żadna próbka gleby nie została przypisana do wyższych (4-6) klas zanieczyszczenia zdefiniowanych przez wartość Igeo[3]. Igeo był bardziej zróżnicowany w przypadku As, Cu, Pb i Zn: poziom mineralny zawierał się w klasach 0-2

[3] Przyjęto następujące stopniowe klasyfikacje zastosowanych indeksów:
CF < 1 – niski poziom zanieczyszczenia, 1<CF<3 – średni poziom zanieczyszczenia, 3<CF<6 – znaczny poziom zanieczyszczenia, CF>6 – wysoki poziom zanieczyszczenia (Hakanson, 1980); PLI < 1 – brak zanieczyszczenia, 1<PLI<2 – umiarkowane zanieczyszczenie, 2<PLI<3 – silne zanieczyszczenie, PLI>3 – ekstremalnie silne zanieczyszczenie (Liu et al. 2013); Igeo ≤0 – klasa 0: gleba praktycznie niezanieczyszczona, 0< Igeo <1 – klasa 1: gleba niezanieczyszczona do umiarkowanie zanieczyszczonej, 1<Igeo<2 – klasa 2: gleba umiarkowanie zanieczyszczona, 2<Igeo<3 – klasa 3: gleba umiarkowanie do silnie zanieczyszczonej, 3<Igeo<4 – klasa 4: gleba silnie zanieczyszczona, 4<Igeo<5 – klasa 5: gleba silnie do ekstremalnie zanieczyszczonej, 5<Igeo<6 – klasa 6: gleba ekstremalnie zanieczyszczona (Müller, 1969;Varol, 2011).

dla dominującej części Saksonii, a tylko niewielki procent obszaru cechowały wyższe wartości Igeo (średnio do silnie zanieczyszczonych) dla As i Cd. Źródłem tych pierwiastków może być rolnicze i pozarolnicze stosowanie herbicydów, insektycydów i środków stymulujących wzrost roślin, a także kopalnictwo i działalność przemysłowa (Peryea i Kammereck, 1997).

W przypadku powierzchni w Piekarach Śl. średnia wartość CF waha się od 0,1 dla strontu (jedyna wartość poniżej 1) do 59,9 dla ołowiu, szeregując badane pierwiastki następująco: Sr<Mn< Ni<V<Ba<Fe<Cr<Ge<Cu<Ag<Hg<Se<As<Tl<Cd<Zn<Pb, wskazując jednocześnie na wysoki poziom zanieczyszczenia tymi pierwiastkami. Natomiast indeks geoakumulacji o wartościach w zakresie od -4,28 (dla strontu) do 7,88 (dla kadmu), klasyfikuje gleby jako niezanieczyszczone (Igeo poniżej 1) następującymi pierwiastkami: Sr<Mn<Ni<V, natomiast ze względu na zawartość Ba<Fe<Cr<Ge<Cu< Ag<Hg<Se<As<Tl jako gleby umiarkowanie do silnie zanieczyszczone, a z powodu zawartości Zn<Pb<Cd jako ekstremalnie zanieczyszczone[3].

PLI jest bardziej kompleksowym indeksem pozwalającym na porównanie poziomu zanieczyszczenia indywidualnie dobraną grupą substancji, w konkretnych punktach pomiarowych, a także na całych obszarach badawczych. Dla obszarów będących pod wpływem oddziaływania emisji przemysłu koksowniczego (H4) obliczono PLI dla całych obiektów (analogicznie do obliczeń Tomlinsona (1980), który liczył PLI dla całej zlewni), żeby możliwe było ich porównanie. W tym kontekście, okazało się, że najbardziej zanieczyszczony jest rejon będący pod wpływem emisji z koksowni w Zabrzu i Bytomiu (PLI=4,84), następnie rejon Koksowni Kraków (umiarkowanie zanieczyszczony: PLI=1,12), a prawie niezanieczyszczony metalami ciężkimi – obszar wokół Koksowni Zdzieszowice (PLI=0,69).

W przypadku gleb Saksonii i Piekar Śl. (H5-H6) obliczenia PLI wykonano dla poszczególnych punktów badawczych i wyróżnionych poziomów glebowych, co umożliwiło wykonanie map przestrzennego rozkładu PLI na całym obszarze badań. Mapy te wykazały duże podobieństwo do rozkładu przestrzennego podatności magnetycznej, zwłaszcza w poziomie organicznym gleb leśnych, a także w górnej warstwie (0-5 cm) gleby ornej. Uzyskane wartości PLI różniły się w zależności od poziomu glebowego i były najwyższe dla powierzchniowej organicznej warstwy gleby. Na podstawie przyjętej klasyfikacji (Liu i in., 2013)[3], 26% gleb leśnych Saksonii (co powierzchniowo odpowiada ~5% całego obszaru tego landu) uznane zostało za ekstremalnie zanieczyszczone, a prawie 27% – za silnie zanieczyszczone. Głębiej leżące poziomy gleb Saksonii charakteryzowały się niższymi wartościami PLI zarówno na obszarach leśnych, jak i użytkowanych

rolniczo – dla 90% próbek wartość PLI nie przekraczała 2, klasyfikując je jako niezanieczyszczone lub umiarkowanie zanieczyszczone.

W przypadku pól uprawnych w Piekarach Śl. najwyższe wartości PLI odnotowano w północno-zachodniej części badanego obszaru z tendencją spadkową w kierunku południowo-wschodnim, jednoznacznie wskazując na emisję z pylącej hałdy jako główne źródło zanieczyszczenia gleby. Wg zastosowanej klasyfikacji[3] uzyskane wartości PLI (>3) pozwalają cały ten obszar uznać za ekstremalnie silnie zanieczyszczony. Zaobserwowano tylko nieznaczny spadek wartości PLI wraz z głębokością, zwłaszcza w punktach najbardziej oddalonych od hałdy.

Wszystkie zastosowane indeksy zanieczyszczeń pozwoliły na rozróżnienie obszarów zanieczyszczonych od niezanieczyszczonych, a stopień zanieczyszczenia poszczególnych obiektów był porównywalny bez względu na zastosowany indeks.

Zagrożenie dla środowiska przyrodniczego i zdrowia ludzi

W konsekwencji wysokiego poziomu zanieczyszczenia gleby może wystąpić zagrożenie dla innych komponentów środowiska oraz zdrowia ludzi. Dlatego podjęta została również próba oceny potencjalnego zagrożenia.

W celu określenia zagrożenia, jakie powodują zanieczyszczenia organiczne dla środowiska przyrodniczego stosuje się tzw. stężenie równoważnika toksyczności (TEC, ang. toxicity equivalent concentration), obliczanego jako suma iloczynów zawartości kancerogennych WWA i ich współczynników toksyczności (określonych dla 16 kancerogennych WWA i wynoszących od 0,001 do 1 (dla najbardziej toksycznego BaP)) (Dat i Chang, 2017). Dla rejonów oddziaływania koksowni wartości TEC wahały się w szerokim zakresie od 0,07 do 6,43 mg/kg, natomiast w rejonie parków i lasów miejskich (dla których wartości TEC obliczono na potrzeby niniejszego opracowania) były znacznie niższe: 0,01-1,92 mg/kg. Obiekty badań uszeregowano w zależności od średniej wartości TEC malejąco: Koksownia Zdzieszowice > Koksownie Bytom/Zabrze > Koksownia Kraków > Koksownia Radlin > Park im. E. Osmańczyka w Bytomiu > Koksownia Dębieńsko > Lasy Panewnicko-Kochłowickie > Koksownia Przyjaźń > Park Powstańców Śl. w Zabrzu. W literaturze wartość TEC nie została dotychczas sklasyfikowana w odniesieniu do gleb. W przypadku zanieczyszczenia powietrza przez WWA ocenia się, że zagrożenie istnieje w momencie, gdy TEC przekracza wartość graniczną dla zawartości BaP (Konieczyński, 2010). Analogicznie do oceny stanu zanieczyszczenia powietrza przez WWA, przyjęto graniczną zawartość BaP w glebie (0,03 mg/kg, Dz.U. poz. 1359) jako wartość TEC, powyżej której istnieje zagrożenie dla środowiska

glebowego (H3, H4). W tym kontekście, tylko jeden punkt pomiarowy charakteryzuje się wartością TEC poniżej 0,03 mg/kg. Wszystkie pozostałe punkty badawcze, których gleby cechują wyższe wartości TEC ocenić należy za zanieczyszczone WWA w stopniu stanowiącym potencjalne zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi.

Gleby charakteryzujące się wysokimi wartościami wcześniej opisanych indeksów zanieczyszczeń (CF>3; PLI>2, Igeo>2) mogą stanowić źródło nadmiernej akumulacji tzw. potencjalnie toksycznych pierwiastków w roślinach rosnących na takich glebach, szczególnie w warunkach kwaśnego odczynu tych gleb sprzyjającego fitoprzyswajalności niektórych toksycznych składników. Kwaśny odczyn (często stwierdzany na terenach leśnych) zwiększa mobilność tych elementów skutkującą tym, że mogą one zostać wymyte w głąb profilu glebowego i infiltrować do wód podziemnych, zanieczyszczając je. Dodatkowo, niektóre pierwiastki, takie jak As, Cd, Cr, Hg i Pb mogą być z łatwością pobierane z gleby przez rośliny liściaste (Liu i in., 2013; Chang i in., 2014), a także grzyby i owoce runa leśnego (Malinowska i in., 2004), które często są zbierane w celach konsumpcyjnych przez mieszkańców m.in. obszaru GOP. Dlatego na terenach lasów i parków miejskich GOP zebrano grzyby i owoce maliny właściwej w celu określenia zawartości w nich potencjalnie toksycznych pierwiastków (H2). Okazało się, że zawartości wybranych elementów w grzybach i owocach maliny są wysokie i przekraczają normy (obowiązujące w Polsce w momencie opublikowania pracy H2: Rozporządzenie Komisji Wspólnot Europejskich nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r.). Rozporządzenie to określa dopuszczalny poziom tylko ołowiu i kadmu, wynoszący odpowiednio: 0,3 i 0,2 mg/kg świeżej masy grzybów oraz 0,2 i 0,05 mg/kg świeżej masy jagód i małych owoców. Dopuszczalny poziom ołowiu został przekroczony w ponad 70% badanych próbek grzybów oraz malin, a kadmu w ponad 60% badanych próbek grzybów oraz w 100% próbek owoców maliny. Ze względu na tak wysoki poziom zanieczyszczenia grzybów i owoców runa leśnego Pb i Cd, a także pozostałymi pierwiastkami nie ujętymi w Rozporządzeniu nie jest wskazane ani ich zbieranie na terenie badanych obiektów, ani spożywanie.

Na polach uprawnych z rejonu hałdy w Piekarach Śl. (H6) uprawiane są warzywa dla celów konsumpcyjnych (kapusta, cebula, kalafior, marchew, pietruszka). Spożywanie płodów rolnych uprawianych na tak zanieczyszczonych glebach może stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi. Innymi, często pomijanymi drogami dostawania się zanieczyszczeń do ludzkiego organizmu jest przypadkowe spożycie zanieczyszczonej gleby, kontakt skóry z glebą, a także wdychanie cząstek gleby i pyłu. Na omawianym obszarze na tego typu zagrożenie narażeni mogą być rolnicy uprawiający pola, a także robotnicy pracujący przy przebudowie i rozbiórce hałdy oraz sportowcy

grający w tenisa na kortach zlokalizowanych w jej bezpośrednim sąsiedztwie. Potencjalne niekancerogenne ryzyko zdrowotne (HI) zostało oszacowane na podstawie ilorazu ryzyka (HQ) powodowanego przez poszczególne potencjalnie toksyczne pierwiastki (w tym przypadku, dla których CF był wyższy od 5, a więc: As, Cd, Hg, Pb, Se, Tl i Zn). Wartości ilorazu ryzyka dla pola znajdują się w przedziale od 0,0004 do 0,36, a poszczególne pierwiastki można uszeregować wg rosnącego HQ następująco: Se<Hg<Zn<Cd=Pb<As<Tl. Dużo wyższe wartości HQ obliczono dla hałdy: 0,09-63,41. Stwierdzono też inne uszeregowanie potencjalnie toksycznych pierwiastków (wg rosnącej wartości HQ): Cd<Zn<Pb<Tl<As. W ocenie ryzyka zdrowotnego przyjmuje się, że ryzyko występuje w sytuacji, gdy indeks HI jest wyższy od jedności. Wyniki badań pokazały, że w przypadku rolników uprawiających piekarskie pole potencjalne niekancerogenne ryzyko zdrowotne nie występuje, gdyż HI wynosi 0,7. Jednak ten sam indeks obliczony na podstawie zawartości pierwiastków w materiale hałdy był ekstremalnie wysoki i wynosił prawie 74, wskazując, że zarówno robotnicy na hałdzie jak i tenisiści grający na pobliskich kortach mogą być narażeni na szkodliwy wpływ zanieczyszczonego pyłu z hałdy na ich zdrowie. Ryzyko jest tym większe, że głównymi elementami mającymi udział w wartości HI są wysoce toksyczne arsen i tal.

Podsumowanie

W pracach badawczych, których wyniki przedstawiłam w cyklu publikacji powiązanych tematycznie, prezentujących osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego:

- wykazałam przydatność i różne scenariusze zastosowania metody magnetometrii glebowej w zróżnicowanych warunkach zanieczyszczenia środowiska i sposobu użytkowania powierzchni ziemi;
- określiłam przestrzenny zasięg anomalii magnetycznych dla poszczególnych obiektów, a moim wkładem była modyfikacja definicji anomalii magnetycznej, za którą przyjęłam obszar o wartościach podatności magnetycznej przekraczających wartość graniczną odpowiadającą 150% wartości mediany podatności magnetycznej obliczonej dla wszystkich pomiarów z badanego obszaru;
- określiłam wartości graniczne podatności magnetycznej dla zróżnicowanych obiektów oraz określiłam wielkość obszaru (w %) objętego anomalią;
- wykazałam możliwość zastosowania tzw. metody różnicowej do rozróżnienia antropogenicznego od geogenicznego pochodzenia anomalii magnetycznych gleb;

- określiłam zależności między wartościami podatności magnetycznej gleby a zawartością wybranych substancji zanieczyszczających, głównie metali ciężkich (H1-H6);
- w celu identyfikacji źródła zanieczyszczeń organicznych w badanych glebach zastosowałam tzw. stosunki diagnostyczne między wybranymi WWA lub ich sumami, a mianowicie: IcdP/(IcdP+BghiP) do Flt/(Flt+Pyr), a także IcdP/(IcdP+BghiP) do BaP/BghiP;
- wykazałam, że stosunki: IcdP/(IcdP+BghiP) o wartości między 0,4 i 0,5 oraz Flt/(Flt+Pyr) między 0,55 i 0,75 są charakterystyczne dla procesu produkcji koksu jako źródła zanieczyszczenia gleby przez WWA;
- stwierdziłam, że gleby objęte wpływem koksowni jako pojedynczego źródła emisji zanieczyszczeń pyłowych charakteryzują się niską podatnością magnetyczną nie przekraczającą wartości 50×10^{-5} SI;
- wykazałam wpływ zróżnicowanych źródeł emisji na rozkład przestrzenny i pionowy podatności magnetycznej badanych gleb, a także wyznaczyłam głębokość migracji zanieczyszczeń w profilu glebowym;
- zmodyfikowałam zastosowanie ekwiwalentu toksyczności, dotychczas stosowanego w ocenie poziomu zanieczyszczenia powietrza, do oceny stopnia zanieczyszczenia gleby WWA;
- na podstawie indeksów zanieczyszczeń, takich jak: współczynnik zanieczyszczenia (CF), ładunek zanieczyszczeń (PLI), indeks geoakumulacji (Igeo), ekwiwalent toksyczności (TEC) dokonałam oceny stopnia zanieczyszczenia gleb oraz wykazałam zależności między podatnością magnetyczną a ww. indeksami;
- na podstawie ilorazu ryzyka (HQ) powodowanego przez poszczególne potencjalnie toksyczne pierwiastki określiłam potencjalne niekancerogenne ryzyko zdrowotne (HI) powodowane kontaktem z zanieczyszczoną glebą oraz pylącym zwałowiskiem żużla hutniczego.

Podsumowując: wyniki prac badawczych przedstawione w cyklu publikacji mają znaczenie poznawcze i praktyczne w zakresie detekcji i identyfikacji zagrożeń środowiska spowodowanych depozycją pyłów przemysłowo-miejskich na powierzchni ziemi. Badania nad wykorzystaniem metody magnetometrii glebowej zintegrowanej z metodami geochemicznymi do szybkiego oszacowania stanu gleby mają znaczenie aplikacyjne, a ich wyniki mogą być wykorzystane w monitoringu zanieczyszczenia powierzchni ziemi potencjalnie toksycznymi pierwiastkami. Zatem magnetometria to metoda pośrednia oceny stopnia zanieczyszczenia gleb, opierająca się na

udowodnionej w prezentowanych pracach istotnej zależności korelacyjnej między podatnością magnetyczną gleby (której wartość jest proporcjonalna do zawartości w glebie cząstek magnetycznych, w rejonach uprzemysłowionych - głównie pochodzenia antropogenicznego/ technogenicznego) a zawartością w niej substancji zanieczyszczających, głównie metali ciężkich i metaloidów. Prezentowane wyniki badań, zwłaszcza te z rejonów oddziaływania przemysłu koksowniczego, poszerzyły dotychczasową wiedzę w zakresie charakterystyki magnetycznej, geochemicznej i mineralnej gleb tych obszarów, wskazując na charakterystyczne wartości badanych parametrów, pozwalających na identyfikację źródła cząstek magnetycznych i towarzyszących im pierwiastków w badanych próbkach gleb. Ważnym aspektem prezentowanych badań jest zdefiniowanie oraz jakościowe i ilościowe określenie zagrożenia nie tylko ekologicznego, ale także zdrowia ludzi powodowanego nagromadzeniem zanieczyszczeń w środowisku. Należy podkreślić, że metoda magnetometrii glebowej jako pośrednia metoda detekcji zanieczyszczeń w środowisku staje się coraz bardziej popularna w kraju i za granicą ze względu na nieinwazyjność, prostotę i szybkość pomiaru, możliwość zastosowania *in situ* oraz *ex situ*. Interdyscyplinarne i wieloaspektowe podejście do tej metody zaprezentowane w cyklu publikacji pozwoli potencjalnym użytkownikom na lepszą interpretację uzyskanych danych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

Od początku mojej pracy naukowo-badawczej związana jestem z Zakładem Magnetyzmu Środowiska i Rekultywacji (wcześniej: Zakład Rekultywacji Terenów Poprzemysłowych), a tym samym z tematyką zastosowania podatności magnetycznej w badaniach środowiskowych. Większość prac koncentrowała się na badaniu gleb, ale obiektem badań magnetometrycznych (jak również chemicznych i mineralogicznych), prowadzonych w ramach badań statutowych, a także ze środków pozyskiwanych na realizację projektów naukowo-badawczych krajowych i zagranicznych, były także pyły przemysłowe, miejsko-przemysłowe i komunikacyjne. Kilka prac związanych było też z zagadnieniami rekultywacji terenów poprzemysłowych. Byłam zaangażowana w realizację większości badań i projektów realizowanych w Zakładzie. Na początku mój udział dotyczył głównie terenowych kampanii pomiarowych, pobierania próbek gleby, ich przygotowania do analiz i wykonania pomiarów laboratoryjnych (głównie podatności magnetycznej, ale także odczynu, przewodnictwa elektrolitycznego), a z czasem objął wszystkie aspekty pracy naukowo-badawczej: od planowania koncepcji badań, poprzez ich realizację, opracowanie matematyczne, statystyczne i graficzne, a na interpretacji wyników badań kończąc. W latach 2000-2017 uczestniczyłam w realizacji nw. projektów badawczych, w których pełniłam rolę kierownika lub wykonawcy:

5.1. Projekty naukowo-badawcze przed uzyskaniem stopnia doktora:

- projekt w ramach 5. RPUE, pt. Screening and monitoring of anthropogenic pollution over Central Europe by using Magnetic Proxies (MAGPROX) – 2000-2004 (wykonawca),
- projekt finansowany przez Saksoński Urząd Krajowy do Spraw Środowiska i Geologii, pt. Podatność Magnetyczna Prób Sieci Glebowej Saksonii – 2003 (wykonawca),
- projekt zamawiany przez Ministerstwo Środowiska, pt. Pilotowy monitoring gleb na obszarach potencjalnych zagrożeń ekologicznych przy zastosowaniu magnetometrii jako metody wspomagającej – 2003-2006 (wykonawca),
- projekt finansowany przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji (Komitet Badań Naukowych), pt. Zastosowanie magnetometrii glebowej w badaniach gleb leśnych na terenach anomalii magnetyczno-geochemicznych w celu wyjaśniania ich charakteru oraz określania zagrożeń ekologicznych – projekt badawczy nr 3 P04G 012 25, 2003-2006 (wykonawca),
- projekty bilateralne z zagranicznymi instytutami w ramach umów między akademiami nauk:
  - Związek między podatnością magnetyczną gleb leśnych, różnorodnością drzewostanów i podłożem geologicznym (Instytut Geologii Czeskiej Akademii Nauk) - (kierownik),
  - Zintegrowane badania anomalii magnetycznej górnej warstwy gleb leśnych rejonów przygranicznych Górnego Śląska i Północnych Moraw (Instytut Geofizyki Czeskiej Akademii Nauk) - (wykonawca),
  - Określanie wielkości zanieczyszczenia gleb na terenach antropopresji poprzez rozwój metod magnetycznych i mikrobiologicznych (Instytut Gleboznawstwa i Chemii Rolnej Węgierskiej Akademii Nauk) - (wykonawca)
- praca na zlecenie Akademii Rolniczej w Poznaniu: Rozkład poziomy i pionowy podatności magnetycznej gleb zalegających w sąsiedztwie odcinka doświadczalnego drogi leśnej o długości 100 m na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Siemianicach, Leśnictwo Laski, 2004.

5.2. Publikacje naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora (do połowy 2005 roku publikowałam pod nazwiskiem Ferdyn)**:**

5.2.1. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC)

Ferdyn M., Strzyszcz Z., Zawartość metali ciężkich w wierzchniej warstwie gruntu i roślinności składowiska żużla hutniczego AGH „Orzeł Biały" w Piekarach Śląskich. Archiwum Ochrony Środowiska, 2002, 28(3), 121-131. IF (2002): -; IF 5y: 0.619

Schibler L., Boyko T., **Ferdyn M.**, Gajda B., Höll S., Jordanova N., Rösler W. and Magprox team, Topsoil magnetic susceptibility mapping: Data reproducibility and compatibility, measurement strategy. Stud. geophys. geod., 2002, 46, 43-57. IF (2002): 0.571; IF 5y: 0.83

Ferdyn M., Strzyszcz Z., Magnetic Susceptibility and Heavy Metal Contents in Forest Soils under Variable Dominant Tree Species in Pruhonice Park. Archiwum Ochrony Środowiska, 2003, 29(43), 71-76. IF (2003): -; IF 5y: 0.619

Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Magiera T., Magnetic susceptibility and heavy metal content of soil around the coking plants in Silesia. Mitt. Deut. Boden. Ges., 2005, Band 107, Heft 1-2, 557-558. IF (2005): -; IF 5y: 0.61

Strzyszcz Z., Magiera T., **Rachwał M.**, Application of soil magnetometry for identification of technogenic anomalies in trace metal and iron contents of the example of Katowice Forest District. Polish Journal of Environmental Studies, 2006, vol. 15, nr 2a, 176-184. IF (2006): 0.352; IF 5y: 0.888

5.2.2. Publikacje w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR

Magiera T., Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Magnetic susceptibility of forest topsoils in mountain regions of southern Poland based on field measurement techniques. Polish Journal of Soil Science, 2006, 39/2, 101-108.

5.2.3. Rozdziały w monografiach

Strzyszcz Z., Magiera T., **Ferdyn M**., Gajda B., Monitoring zanieczyszczeń środowiska pochodzenia antropogenicznego na terenie centralnej Europy przy użyciu metod magnetycznych. Działalność Naukowa PAN, 2002, 14, 147-148. ISSN 1233-4545.

Ferdyn M., Strzyszcz Z., Gajda B., Magiera T., Monitoring magnetyczny gleb leśnych na obszarze Dolnego Śląska, północno-zachodnich Czech i południowo-wschodniej Saksonii. Konferencja: Zrównoważony Rozwój Ekoregionu Czechy – Saksonia – Dolny Śląsk, Wrocław 16-18.10.2002, p. 109-114.

Magiera T., Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Możliwości wykorzystania magnetometrii terenowej w monitoringu regionalnym gleb leśnych na przykładzie Nadleśnictwa Katowice. [w] B. Gworek i J. Misiak (red.), Obieg Pierwiastków w przyrodzie, IOŚ Warszawa, 2003, t. II, 708-713.

Magiera T., Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Gajda B. and MAGPROX team, Screening of anthropogenic dust pollutions in topsoil by using magnetic proxies. [w] Pawlowski et al. (ed.), Environmental Engineering Studies, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2003, 399-407.

Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Zagrożenie ekologiczne gleb leśnych przez emitowane technogenne związki żelaza. [w] A. Musialik-Piotrowska i J.D. Rutkowski (red.), Emisje. Zagrożenie. Ochrona Powietrza, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Sekcja Główna Inżynierii Ochrony Atmosfery, Wrocław, 2004, 351-358.

Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Magiera T., Gajda B., Deposition of the metallurgical dust and increase of magnetic susceptibility and heavy metal contents in soils. Contributions to Geophysics and Geodesy, vol. 34: Paleo, Rock and Environmental Magnetism, 2004, 144-145.

Magiera T., Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Charakterystyka podatności magnetycznej gleb leśnych w regionach górskich na podstawie magnetometrii terenowej. [w] A. Miechówka, M. Gąsiorek, K. Ciarkowska (red.), Problemy zagospodarowania ziem górskich, 2005, 52, 59-60.

Strzyszcz Z., Magiera T., **Rachwał M.**, Magnetometr SM 400 jako nowe narzędzie do oceny wielkości depozycji pyłów przemysłowo-miejskich w glebach w oparciu o pomiar podatności magnetycznej w terenie. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 33: II Kongres Inżynierii Środowiska, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin, 2005, t. 2, 623-631.

Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Magiera T., Ocena zagrożeń ekologicznych obszarów zieleni miejskiej metodą magnetometrii glebowej, [w] Zieleń Miejska – naturalne bogactwo miasta. Zasady gospodarowania i ochrona, Urząd Miasta Torunia, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, 2005, 139-146 (rozdz. w monografii).

Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Magiera T., Zastosowanie magnetometrii do identyfikacji technogennych anomalii geochemicznych gleb spowodowanych opadem pyłów przemysłowych w Polsce południowej. [w] A. Musialik-Piotrowska i J.D. Rutkowski (red.), Ochrona Powietrza Atmosferycznego. Osiągnięcia w nauce, energetyce i przemyśle, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Sekcja Główna Inżynierii Ochrony Atmosfery, Wrocław, 2006, 201-206.

5.2.4. Publikacje w materiałach konferencyjnych

Magiera T., Strzyszcz Z., Nawrocki J., **Ferdyn M.**, Local magnetic topsoil anomalies as a result of iron metallurgy. Geophysical Research Abstracts, European Geophysical Society.Vol. 3, s. 1332, 2001.

Ferdyn M., Strzyszcz Z., Gajda B., Magiera T, Monitoring magnetyczny gleb leśnych na obszarze Dolnego Śląska, północno-zachodnich Czech i południowo-wschodniej Saksonii, Mat. Konf. Zrównoważony Rozwój Ekoregionu Czechy-Saksonia-Dolny Śląsk, Wrocław, 2002, 109-114. ISBN 83-901926-5-9.

Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Magiera T., Heavy metal content in Polish ombrotrophic peat bogs depending on the industrial emission, Proceedings of 7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2003, 224-225. ISBN 91-576-6582-6

Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Magiera T., Zastosowanie magnetometrii w rekultywacji i zagospodarowaniu terenów poprzemysłowych. Materiały międzynarodowej konferencji Sustainable Post-Mining Land Management, Kraków, 2004, 1-11.

Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Gajda B., Zastosowanie analizy spacjacyjnej do oceny zagrożenia gleb przez depzycję żelaza i manganu. Książka streszczeń Sympozjum międzynarodowego „Żelazo i Mangan w Środowisku – Problemy Ekologiczne i Metodyczne", Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, Warszawa, 2004, s. 39. ISBN 83—914609-7-5

Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Magiera T., Gajda B., Deposition of the metallurgical dust and increase of magnetic susceptibility and heavy metal contents in soils. Contributions to Geophysics and Geodesy, vol. 34: Paleo, Rock and Environmental Magnetism, 9th Castle Meeting, Tatarska Javorina, Slovak Republic, 2004, 144-145.

Strzyszcz Z., **Ferdyn M.**, Magnetic susceptibility of soil around the coking plants in Silesia. The General Assembly of the European Geosciences Union, Wiedeń. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 2005, s. 08350. ISSN1029-7006

Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Magiera T., Ocena zagrożeń ekologicznych obszarów zieleni miejskiej metodą magnetometrii glebowej. I Konferencja Zieleń Miejska. Naturalne bogactwo miasta. Zasady gospodarowania i ochrona. Urząd Miasta Torunia, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddz. Toruń, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Ogrodnictwa Oddz. Bydgoszcz, Toruń, 2005, 22-23 (abstrakt).

5.3. Projekty naukowo-badawcze po uzyskaniu stopnia doktora:

5.3.1. Kierowanie projektami NCN:

- Wpływ przemysłu koksochemicznego na podatność magnetyczną gleb oraz zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i metali ciężkich w glebach – projekt badawczy nr N N523 413035 (2008-2011),
- Magnetyczno-mineralogiczna identyfikacja technogenicznych tlenków i wodorotlenków manganu i żelaza w pyłach przemysłowych i glebach Górnego Śląska – projekt badawczy nr UMO-2013/09/B/ST10/02227 (2014-2017).

5.3.2. Rola wykonawcy lub głównego wykonawcy w projektach NCN i NCBiR:

- Zastosowanie magnetometrii glebowej do oceny ekologicznej terenów parkowo-leśnych centralnej części GOP w celu szybkiego wykrywania miejsc potencjalnych zagrożeń – projekt badawczy nr 2 P04G 125 28, 2005-2007,
- Charakterystyka morfologiczna i geochemiczno-mineralogiczna technogennych minerałów żelaza jako wskaźnika zanieczyszczenia gleb – projekt badawczy nr N523 074 32/2889, 2007-2010,
- Zastosowanie magnetometrii glebowej do oceny zagrożeń terenów parkowo-miejskich Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP) wtórną emisją – projekt rozwojowy nr NR14 0034 06/2009, 2009-2012,
- Charakterystyka aktualnych zanieczyszczeń komunikacyjnych deponowanych w glebach przydrożnych w zróżnicowanych warunkach klimatycznych – opracowanie i testowanie nowej koncepcji monitoringu zanieczyszczeń komunikacyjnych – projekt badawczy nr NCN 676/N-DFG/2010/0, 2010-2013,
- Magnetyczna i mineralogiczna charakterystyka technogenicznych cząstek magnetycznych obecnych w glebach i torfowiskach rejonów wielowiekowej działalności górniczo-hutniczej w zlewni Brynicy i Stoły – projekt badawczy nr NCN 2012/05/B/ST10/01053, 2013-2016.

Wykonawca w projekcie finansowanym z Funduszy Norweskich, pt.: Development of integrated geophysical/geochemical methods of soil and groundwater pollution assessment and control in problematic areas (IMPACT), 2013-2016.

Główny wykonawca w projektach badawczych NCN, których finansowanie zostało przyznane w ramach ostatniego konkursu OPUS 12:

- Przemiany wybranych pierwiastków (metali i metaloidów) podczas migracji na drodze emitor – powietrze – gleba
- Zróżnicowanie technogenicznych cząstek magnetycznych w środowisku glebowym w zależności od źródeł emisji i ich rola w transporcie potencjalnie toksycznych pierwiastków

5.3.3. Udział w realizacji tematów statutowych Zakładu:

- Zagrożenie środowiska przyrodniczego powodowane przez technogenne ferromagnetyki (2007-2010) – kierowanie zadaniem pt.: Rozkład ferromagnetyków objętych wpływem przemysłu koksochemicznego (2007-2008),
- Zmienność przestrzenna podatności magnetycznej gleb leśnych i jej geostatystyczna i ekologiczna interpretacja (2008-2010),
- Charakterystyka magnetyczna pyłów przemysłowych pochodzących z wybranych źródeł emisji (2011),
- Charakterystyka geogenicznych źródeł anomalii glebowych w Polsce (2012-2014),
- Technogeniczne cząstki magnetyczne w środowisku - powstawanie, oddziaływanie, przemiany oraz metody wykrywania (2015-2016),

- Związki żelaza w środowisku: powstawanie, przemiany, oddziaływanie, metody wykrywania oraz możliwości wykorzystania w ochronie środowiska (2017).

5.3.4. Wykonawca, a od 2013 roku kierownik projektu realizowanego na zamówienie Centrum Hemholtz'a w Poczdamie (Niemcy): Podatność magnetyczna podglebia gleb Saksonii oraz gleb tzw. Czarnego Trójkąta (Polska-Czechy-Niemcy), 2009-nadal.

5.3.5. Wykonawca w pracach na zlecenie:

- Kompanii Węglowej S.A. w Katowicach: Dobór mieszanek traw do wykonania rewitalizacji zwałowiska skały płonnej zlokalizowanego przy Szybie Głównym KWK „Ziemowit", 2012-2013,
- Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Katowicach: Identyfikacja źródeł zanieczyszczeń wpływających na skład chemiczny wód w obszarze Natura 2000 Cieszyńskie Źródła Tufowe PLH240001, 2017.

Aktualnie realizuję projekt finansowany przez NCN w konsorcjum z Wydziałem Nauk o Ziemi oraz Wydziałem Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego pt.: Magnetyczno-mineralogiczna identyfikacja technogenicznych tlenków i wodorotlenków manganu i żelaza w pyłach przemysłowych i glebach Górnego Śląska. Prowadzone badania są spójne z tematyką realizowaną w Zakładzie Magnetyzmu Środowiska i Rekultywacji, ale nieznacznie wykraczają poza nią. Dotyczą wykorzystania magnetometrii glebowej do identyfikacji miejsc o podwyższonych wartościach podatności magnetycznej, które świadczą o nagromadzeniu cząstek magnetycznych (w naszym regionie pochodzenia technogenicznego z depozycji pyłów przemysłowych) i powiązanych z nimi metali ciężkich w glebie. W projekcie przedmiotem badań są właśnie zanieczyszczone gleby oraz pyły powstające w przemyśle energetycznym i metalurgicznym oraz naturalnie występujące minerały manganu i żelaza. Celem badań jest identyfikacja i charakterystyka magnetyczno-mineralogiczna i geochemiczna tzw. technogenicznych cząstek magnetycznych występujących w pyłach i glebach, a także określenie właściwości magnetycznych naturalnych minerałów. Badania są obiecujące, gdyż wykorzystują zróżnicowane techniki i metody badawcze, oprócz magnetometrii glebowej, spektroskopię Mössbauera i Ramana, mikroskopię skaningową, dyfrakcję rentgenowską, a także AAS i ICP. Uzyskane wyniki były już prezentowane na kilku konferencjach, a w najbliższym czasie zostaną opublikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Tematyka związana z charakterystyką magnetyczno-mineralogiczną i geochemiczną tzw. technogenicznych cząstek magnetycznych zakumulowanych w glebach, w zależności od ich frakcji granulometrycznej i magnetycznej będzie kontynuowana.

Ponadto, zaczęłam wstępne badania w nowym kierunku, jakim jest tzw. biomonitoring magnetyczny, polegający na określaniu poziomu zanieczyszczenia środowiska przy użyciu metod magnetycznych z zastosowaniem materiałów biologicznych. W ostatnim roku, w ramach badań statutowych i współpracy z Zakładem Ochrony Powietrza oraz Wydziałem Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, prowadziłam badania podatności magnetycznej sieci pajęczych, których efektem jest świeżo opublikowany artykuł w renomowanym czasopiśmie międzynarodowym Environmental Pollution. Badania planujemy kontynuować w ramach przyszłego projektu badawczego finansowanego przez NCN.

Innym kierunkiem badań, który mnie interesuje i który pragnę rozwijać w przyszłości jest zastosowanie badań magnetyczno-mineralogicznych i geochemicznych do badania wpływu zanieczyszczeń pyłowych na zdrowie ludzi, zwłaszcza tych aktywnie spędzających czas i uprawiających sport w pobliżu zanieczyszczonych arterii komunikacyjnych.

5.4. Publikacje naukowe po uzyskaniu stopnia doktora:

5.4.1. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC)

Magiera T., Strzyszcz Z., **Rachwał M**., Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in Urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland. Forest Ecology and Management, 2007, 248, 36–42. IF (2007): 1.579; IF 5y: 3.153

Magiera T., Kapička A., Petrovský E., Strzyszcz Z., Fialová H., **Rachwał M**., Magnetic anomalies of forest soils in the Upper Silesia-Northern Moravia region. Environmental Pollution 2008, 156 (3), 618–627. IF (2008): 3.135; IF 5y: 4.76

Strzyszcz Z., **Rachwał M**., Changes in magnetic susceptibility of forest soils along the west and south border of Poland. Archives of Environmental Protection 2008, 34 (1), 71–79. IF (2008): -; IF 5y: 0.619

Magiera T., Jabłońska M., Strzyszcz Z., **Rachwał M**., Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts. Atmospheric Environment 2011, 45 (25), 4281–4290. IF (2011): 3.465; IF 5y: 3.78

Magiera T., Jankowski M., Świtoniak M., **Rachwał M**., Study of forest soils on an area of magnetic and geochemical anomaly in north-eastern Poland. Geoderma 2011, 160, 559–568. IF (2011): 2.318; pięcioletni IF: 4.163

Rachwał M., Magiera T., Wawer M., Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemosphere 2015, 138, 863–873. IF (2015): 3.698; pięcioletni IF: 4.506

Zawadzki J., Fabijańczyk P., Magiera T., **Rachwał M**., Micro-scale spatial correlation of magnetic susceptibility in soil profile in forest located in an industrial area. Geoderma 2015, 249–250, 61–68. IF (2015): 2.855; IF 5y: 3.31

Zawadzki J., Fabijańczyk P., Magiera T., **Rachwał M**., Geostatistical microscale study of magnetic susceptibility in soil profile and magnetic indicators of potential soil pollution. Water Air & Soil Pollution 2015, 226 (1), art. no. 142. IF (2015): 1.551; IF 5y: 1.833

Rachwał M., Kardel K., Magiera T., Bens O., Application of magnetic susceptibility in assessment of heavy metal contamination of Saxonian soil (Germany) caused by industrial dust deposition. Geoderma 2017, 295, 10–21. IF (2016/2017): 4.036; pięcioletni IF: 4.163

Rachwał M., Wawer M., Magiera T., Steinnes E., Integration of soil magnetometry and geochemistry for assessment of human health risk from metallurgical slag dumps. Environmental Science and Pollution Research 2017, 24: 26410–26423. IF (2016/2017): 2.741; pięcioletni IF: 3.023

Szumiata T., **Rachwał M**., Magiera T., Brzózka K., Gzik-Szumiata M., Gawroński M., Górka B., Kyzioł-Komosińska J., Iron-containing phases in metallurgical and coke dusts as well as in bog iron ore. Nukleonika 2017, 62(2):187–195. IF (2016):0.546; IF 5y: 0.487

Rachwał M., Rybak J., Rogula-Kozłowska J. Magnetic susceptibility of spider webs as a proxy of airborne metal pollution. Environmental Pollution, 2018, 234: 543–551. IF (2016/2017): 5.099; IF 5y: 5.552

5.4.2. Publikacje w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR

Łukasik A., **Rachwał M**., Strzyszcz Z., Application of magnetic susceptibility of soils for identification of potential sources of secondary dust emission in urban parks. Soil Science Annual, 2012, 63(4), 34–40.

Wawer M., **Rachwał M**., Kowalska J., Impact of noise barriers on the dispersal of solid pollutants from car emissions and their deposition in soil. Soil Science Annual, 2017, 68(1), 19–26.

5.4.3. Monografie

Strzyszcz Z., **Rachwał M**., Zastosowanie magnetometrii do monitoringu i oceny ekologicznej gleb na obszarach objętych wpływem emisji przemysłowych. Prace i Studia 2010, vol.78, 1–88.

Rachwał M., Strzyszcz Z., Wpływ przemysłu koksochemicznego na podatność magnetyczną gleb oraz zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i metali ciężkich w glebach. Prace i Studia 2012, vol.81, 1–110.

5.4.4. Rozdziały w monografiach

Strzyszcz Z., **Rachwał M**., Magnetometria – innowacyjna metoda identyfikacji obszarów skażonych chemicznie wymagających rewitalizacji. [w] Monografia Innowacyjne rozwiązania rewitalizacji terenów zdegradowanych, red. J. Skowronek, Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp. z o.o. w Lędzinach, IETU, Katowice, 2009, 73-84. ISBN 978-83-905712-8-7

Strzyszcz Z., **Rachwał M**., Kusza G., Łukasik A., Air pollution impact on formation of magnetic and geochemical anomalies in parks and urban forests of Upper Silesia. [w] Air Protection In Theory And Applications. Zabrze, 2010, vol. II, 327–338.

Gołuchowska B., Strzyszcz Z., Kusza G., **Rachwał M**., Główne atmosferyczne źródła ferromagnetyków w województwie opolskim i ich ekologiczna ocena. [w] A. Musialik- Piotrowska, J.D. Rutkowski (red.), Współczesne

osiągnięcia w ochronie powietrza atmosferycznego, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Sekcja Główna Inżynierii Ochrony Środowiska, Wrocław 2010, 893, 119–128.

Strzyszcz Z., **Rachwał M.,** Łukasik A., Wykorzystanie magnetometrii do identyfikacji gleb obszarów objętych wpływem depozycji pyłów przemysłowych. [w] Monografia „Innowacyjne rozwiązania rewitalizacji terenów zdegradowanych 2010", IETU, Katowice, 2011, 46-55. ISBN 978-83-930319-0-0

Strzyszcz Z., **Rachwał M**., Technogeniczne zanieczyszczenie gleb parkowo-leśnych w GOP i jego konsekwencje ekologiczne. [w] Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Politechnika Lubelska, Lublin, 2012, 99(I), 269–278.

Magiera T., **Rachwał M**., Łukasik A., Soils of urban forests and parks of the Upper Silesia Region, [w] Charzyński P., Hulisz P., Bednarek R., Technogenic Soils of Poland, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Toruń, 2013, 301–319.

5.4.5. Publikacje w materiałach konferencyjnych

Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Buforowość odpadów górnictwa węgla brunatnego i kamiennego i jej znaczenie w procesach rekultywacji zwałowisk. [w] Mat. Konferencji „Ochrona i Rekultywacja Terenów Dorzecza Odry: Rekultywacja terenów zdegradowanych", Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, 2007, s.1.

Strzyszcz Z., **Rachwał M.**, Kształtowanie technogennych anomalii magnetycznych gleb leśnych w zależności od wielkości depozycji pyłów przemysłowych oraz czynnika czasu. Janowska E., Czępińska-Kamińska D., Oktaba L., Kondras M., (red.), Gleba w czasie i przestrzeni, 27. Kongres Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, Warszawa, 3-7 września 2007, s. 1.

Strzyszcz Z., **Rachwał M**., The impact of technogenic iron compounds of industrial dusts on the formation of magnetic and geochemical anomalies of forest soils in south Poland and the border areas (Czech Republic, Germany). [w] W.E. H. Blum, M. H. Gerzabek and M. Vodrazka (red.), Book of Abstracts, EUROSOIL. Soil – society – environment, 2008, P143

Rachwał M., Strzyszcz Z., Magiera T., Zawartość pierwiastków śladowych w materiale roślinnym z terenów anomalii magnetycznej i geochemicznej Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. [w] Książka streszczeń X Sympozjum z cyklu „Pierwiastki śladowe w środowisku", Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2008, 307-309. ISBN 978-83-7365-151-7

Strzyszcz Z.; **Rachwał M.,** Kardel K., Magnetic Susceptibility of Saxony Soils and their Quantification, „Tagung der AG Bodenschätzung und Bodenbewertung", DBG, 6-9.09.2010, Ostritz, Niemcy: http://eprints.dbges.de/529/1/DBG_2010_Vortrag_7_Strzyszcz%2C_Rachwal__Kardel.pdf

Strzyszcz Z., **Rachwał M.,** Formation of technogenic magnetic anomalies in forest soils depending on amount of industrial dust deposition and the time factor. The General Assembly of the European Geosciences Union, Wiedeń (Austria), Geophysical Research Abstracts, 2011, Vol. 13, EGU2011-7569-2.

Magiera T., Szuszkiewicz M., **Rachwał M.**, Application of soil magnetometry on urban and industrial areas affected by different sources of pollution. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly, 2012, Vol. 14, EGU2012-8169.

Magiera T., **Rachwał M**., Łukasik A., Magnetic properties of soils influenced by urban and industrial dust deposition. 7th International Conference of the Urban Soils Working Group, SUITMA, International Union of Soil Sciences, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu i Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 16-20.09.2013, Toruń, s. 59.

Rachwał M., Magiera T., Wawer M., Occurence of technogenic magnetic particles, heavy metals and PAHs in soils of area influenced by coke and metallurgical industry. 7th International Conference of the Urban Soils Working Group, SUITMA, International Union of Soil Sciences, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu i Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 16-20.09.2013, Toruń, s. 98.

Magiera T., **Rachwał M.**, Wawer M., Jabłońska M., Geochemical and mineralogical characteristic of current roadside pollution from experimental monitoring plots located in different countries. [w] Goldschmidt Florencja 2013, European Association of Geochemistry and Geochemical Society, 2013, s. 1668.

Łukasik A., **Rachwał M**.., Koncepcja zadarnienia odpadów karbońskich w aspekcie praktycznym (Wyniki jednorocznego doświadczenia polowego na zwałowisku KWK „Ziemowit"). [w] Mat. VIII Międzynarodowej Konferencji Innowacyjne Rozwiązania Rewitalizacji Terenów Zdegradowanych, Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Węglowego Sp. Z o.o. w Lędzinach oraz IETU w Katowicach. Ustroń, 2014, 84–86.

Magiera T., **Rachwał M**., Technogeniczne cząstki magnetyczne w środowisku glebowym. Mat. Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Transformacja Zanieczyszczeń w Środowisku", Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Instytut Upraw Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, Kraków 2014.

Rachwał M., Magiera T., Rozwój zintegrowanych geofizyczno-geochemicznych metod oceny i kontroli zanieczyszczeń gleb i wód gruntowych na obszarach zagrożonych - Międzynarodowy Projekt Badawczy IMPACT.

Mat. Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Transformacja Zanieczyszczeń w Środowisku", Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Instytut Upraw Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, Kraków 2014.

Rachwał M., Magiera T., Szuszkiewicz M., Twardowska I**.,** Soil magnetometry – a fast and reliable screening method for the assessment of spatial pollution with trace elements. [w] A. Kungolos, K. Aravossis, P. Samaras,K. W. Schramm (red), Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2015) and SECOTOX Conference, Mykonos, Greece, 2015, s. 56.

Rachwał M., Magiera T., Bens O., Kardel K., Correlations between soil magnetic susceptibility and the content of particular elements as a reflection of pollution level, land use and parent rocks. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly, 2015, Vol. 17, EGU2015-8106.

Rachwał M., MagieraT., Development of integrated geophysical/geochemical methods of soil and groundwater pollution assessment and control in problematic areas (IMPACT). Materiały Sympozjum naukowego Komisji Fizyki Gleby Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego SGGW Warszawa, 10-11 luty 2016, s. 22.

Uzarowicz Ł., Kwasowski W., Zagórski Z., Chojnicki J., Oktaba L., Kondras M., Szara E., Wolińska A., Szafranek-Nakonieczna A., Błońska E., **Rachwał M.**, Bartmiński P., Stobiński M., Gołębiewska A., Mazur A., Perkowska K., 2016. Wskaźniki oceny jakości gleb technogenicznych (Technosols) ukształtowanych na składowiskach odpadów poprzemysłowych. Book of abstracts of Warsztaty naukowe „Wskaźniki oceny jakości gleb", Warszawa, 29 września 2016 r., s. 18.

Uzarowicz Ł., Zagórski Z., **Rachwał M.**, 2016. Assessment of properties of technogenic soils developed from ash after bituminous coal and lignite combustion: remarks for reclamation. Book of abstracts of the 2nd International Conference of Young Scientists "Soil in the Environment" (SITE 2016), September 11–14 2016, Ślesin, s. 16.

Rachwał M., Jabłońska M., Magiera T., Teper E., Wawer M., Krzykawski T., Szuszkiewicz M., Standard materials of Fe and Mn oxides, hydroxides and carbonates in the study of technogenic magnetic particles, The 26th Goldschmidt Conference Abstracts, Yokohama (Japonia), 22.06-3.07.2016, s. 2564.

Jabłońska M., **Rachwał M.**, Janeczek J., Magiera T., Krzykawski T., Teper E., Wawer M., Mineral composition and magnetic properties of technogenic particles originated from non-ferrous metal smelting activities. The 26th Goldschmidt Conference Abstracts, Yokohama (Japonia), 22.06-3.07.2016, s. 1307.

Magiera T., Szuszkiewicz M., Fabian K., **Rachwał M.**, Wawer M. Application of soil magnetometry for pollution screening at different scenarios. Abstarcts of 15th Castle Meeting - New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism, Dinant (Belgia) 21-27.08.2016, 97–99.

Rachwał M., Wawer M., JabłońskaM., Magiera T., Krzykawski T., Łukasik A., Mineral composition and magnetic properties of technogenic magnetic particles originated from different kinds of industry, Abstarcts of 15th Castle Meeting - New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism, Dinant (Belgia) 21-27.08.2016, s. 125–126.

Rachwał M., Kądziołka-Gaweł M., Magiera T., Jabłońska M., Krzykawski T., Mineral composition of iron-containing standard materials determined by different analytical methods. Materiały XI Ogólnopolskiego Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej, Turno k. Białobrzegów nad Pilicą, 19-22.06.2016.

Szumiata T., **Rachwał M.**, Magiera T., Brzózka K., Gzik-Szumiata M., Gawroński M., Górka B., Kyzioł-Komosińska J., Iron-containingphases in metalurgical and cokedusts as well as in bog iron ore. Materiały XI Ogólnopolskiego Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej, Turno k. Białobrzegów nad Pilicą, 19-22.06.2016.

Wawer M., **Rachwał M**., Jabłońska M., Krzykawski T., Magiera T., Thermomagnetic identification of manganese and iron minerals present in soils and industrial dusts. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly, 2017, Vol. 19, EGU2017-7526.

Kądziołka-Gaweł M., **Rachwał M.**, Characterization of Steel Production Dusts: Mössbauer Spectroscopy Study. Proceedings of the International Conference of Recent Trends in Environmental Science and Engineering (RTESE'17) Toronto, Canada – August 23 – 25, 2017 Paper No. 136 DOI: 10.11159/rtese17.136

Konferencje naukowe

Uzyskane wyniki badań konsultowałam na forum krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych. Od uzyskania stopnia doktora brałam udział w 25 konferencjach krajowych oraz 12 międzynarodowych. Wygłosiłam tam około 30 referatów [Załącznik 4].

Recenzje

W ramach działalności naukowo-badawczej w ciągu ostatnich kilku lat wykonałam 16 recenzji dla następujących czasopism: Acta Geophysica (2), Bulletin of Geography-Physical Geography Series (1), Environmental Earth Sciences (1), Environmental Pollution (1), Environmental Research (1), Environmental Science (3), Environmental&Socio-economic Studies (2), Geoderma (1), Journal of Soils and Sediments (2) i Science of the Total Environment (2).

Działalność organizacyjna

- członek Rady Naukowej IPIŚ PAN od 2011 roku (od 2013 r. - sekretarz RN)
- sekretarz Komisji ds. oceny badań statutowych IPIŚ PAN od 2015 r.
- rzecznik dyscyplinarny IPIŚ PAN od 2015 r.
- członek organizacji naukowych: European Geosciences Union, European Association of Geochemistry, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze.

Nagrody

2012 - Dyplom uznania za monografię *Zastosowanie magnetometrii do monitoringu i oceny ekologicznej gleb na obszarach objętych wpływem emisji przemysłowych* nominowaną do „Zielonych Czeków" w kategorii prace naukowo-badawcze, WIOŚiGW w Katowicach

2016 - Nagroda I stopnia Rektora Politechniki Warszawskiej za udział w pracach zespołu z Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska (J. Zawadzki, P. Fabijańczyk), za osiągnięcia naukowe w latach 2014-2015

DANE BIBLIOMETRYCZNE

Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie JCR: **17**

Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR: **3**

Monografie: **2**

Rozdziały w monografiach: **16**

Doniesienia konferencyjne: **35**

Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS):	**6**
Sumaryczny impact factor zgodnie z rokiem opublikowania:	**36.66**
Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science:	**230**
bez autocytowań:	**215**

Wykorzystana literatura

Apeagyei E., Bank M.S., Spengler J.D., 2011. Distribution of heavy metals in road dust along an urban–rural gradient in Massachusetts. Atmos Environ 45: 2310–2323.

ATSDR 2004: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public health assessment guidance manual. Appendix G: calculating exposure doses. https://www.atsdr.cdc.gov/publications_hac.html

Blaha U., Appel E., Stanjek H., 2008. Determination of anthropogenic boundary depth in soil profiles and semi-quantification of heavy metal loads using magnetic susceptibility. Environ Pollut 156 (2): 278–289.

Blundell A., Dearing J.A., Boyle J.F., Hannam J.A., 2009. Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales, Earth-Sci Rev 95: 158–188.

Bourennane H., Salvador-Blanes S., Cornu S., King D., 2003. Scale of spatial dependence between chemical properties of topsoil and subsoil over a geologically contrasted area (Massif Central, France). Geoderma 112: 235–251.

Boyko T., Scholger R., Stanjek H., MAGPROX Team, 2004. Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring: repeatability of in situ measurements. J Appl Geophys 55: 249–259.

Bućko M.S., Magiera T., Pesonen L.J., Janus B., 2010. Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes - case study from Finland. Water Air Soil Pollut 209 (1–4): 295–306.

Cao L., Appel E., Hu S., Yin G., Lin H., Rösler W., 2015. Magnetic response to air pollution recorded by soil and dust-loaded leaves in a changing industrial environment. Atmos Environ 119: 304–313.

Carrero J.A., Arrizabalaga I., Bustamante J., Goienaga N., Arana G., Madariaga J.M., 2013. Diagnosing the traffic impact on roadside soils through a multianalytical data analysis of the concentration profiles of traffic-related elements. Sci Total Environ 458–460: 427–434.

Catinon M., Ayrault S., Boudouma O., Bordier L., Agnello G., Reynaud S., Tissut M., 2014. Isolation of technogenic magnetic particles. Sci Total Environ 475: 39–47.

Chang C.Y., Yu H.Y., Chen J.J., Li F.B., Zhang H.H., Liu C.P., 2014. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. Environ Monit Assess 186: 1547–1560.

Çolak M., Gümrükçüoğlu M., Boysan F., Baysal E., 2016. Determination and mapping of cadmium accumulation in plant leaves on the highway roadside, Turkey. Arch Environ Prot 42(3): 11–16.

Dat N.D., Chang, M.B., 2017. Review on characteristics of PAHs in atmosphere, anthropogenic sources and control technologies. Sci Total Environ 609: 682–693.

Dearing J.A., 1994. Environmental Magnetic Susceptibility. Using the Bartington MS2 System. Chi Publishing, Kenilworth, England.

Dearing J.A., 1999. Magnetic susceptibility. (in) Walden J., Oldfield F., Smith J. (Eds.). Environmental magnetism: A practical guide. Quaternary Research Association, London, Technical Guide 6: 35-62.

Dearing J.A., Hay K.L., Baban S.M.J., Huddleston A.S., Wellington E.M.H. Loveland P.J., 1996. Magnetic susceptibility of soil: An evaluation of conflicting theories using a national data set. Geophys J Int 127: 728-734.

Dekkers M.J., 1997. Environmental magnetism: an introduction. Geologie en Mijnbouw, 76(1–2): 163–182.

Desaules, A., Hämmann, M., Weisskopf, M. 2001. Commentary on the Ordinance of 1 July 1998 relating to impacts on the soil (OIS). Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape, Berne.

Dz.U. poz. 1359: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.

Dz.U. poz.1395: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi.

Evans M.E., Heller F., 2003. Environmental Magnetism. Academic Press–Elsevier, Amsterdam.

Ferdyn M., Strzyszcz Z., 2002. Heavy metal content in tree species and metallurgical slag from non-ferrous „Orzel Bialy“ Plant in Piekary Slaskie. Arch Environ Prot 28(3): 121–131 (in Polish).

Fialová H., Maier G., Petrovský E., Kapička A., Boyko T., Scholger R., 2006. Magnetic properties of soils from sites with different geological and environmental settings. J Appl Geophys 59: 273–283.

Fine P., Singer M.J., Verosub K.L., 1992. Use of magnetic susceptibility measurements in assessing soil uniformity in chronosequence studies. Soil Sci Soc Am J 56: 1195–1199.

Gargiulo J.D., Chaparro M.A.E., Bertuccelli G., Marinelli C., 2011. Study of PM emission from a coke factory using environmental magnetism and complementary methods. Latinmag Letters, 1, Special, D20, 1–6. Proceedings Tandil, Argentina.

Grabowska T., 2012. Magnetometria stosowana w badaniach środowiska. Tom I. Wydawnictwa AGH, Kraków.

Grabowska T., 2013. Magnetometria stosowana w badaniach środowiska. Tom II. Wydawnictwa AGH, Kraków.

Hakanson L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. Water Res 980(14): 975–1001.

Hanesch M., Petersen N., 1999. Magnetic properties of a recent parabrown-earth from Southern Germany. Earth Planet Sci Lett 169: 85–97.

Hanesch M., Scholger R., 2002. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. Environ Geol 42: 857–70.

Hanesch M., Rantitsch G., Hemetsberger S., Scholger R., 2007. Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: their consideration in magnetic pollution mapping. Sci Total Environ 382: 351–363.

Heller F., Strzyszcz Z., Magiera T., 1998. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland. J Geophys Res 103(B8): 17767–17747.

Jordanova N., 2016. Soil magnetism. Applications in pedology, environmental science and agriculture. 1st Edition, Academic Press (Elsevier).

Jordanova D., Goddu S.R., Kotsev T., Jordanova N., 2013. Industrial contamination of alluvial soils near Fe–Pb mining site revealed by magnetic and geochemical studies. Geoderma 192: 237–248.

Jordanova N., Jordanova D., Petrov P., 2011. Magnetic imprints of pedogenesis in Planosols and Stagnic Alisol from Bulgaria. Geoderma 160: 477–489.

Jordanova N., Jordanova D., Tsacheva T., 2008. Application of magnetometry for delineation of anthropogenic pollution in areas covered by various soil types. Geoderma 144(3): 557–571.

Kapička A., Petrovský E., Fialova H., Podrazsky V., Dvorak I., 2008. High resolution mapping of anthropogenic pollution in the GiantMountains National Park using soilmagnetometry. Stud Geophys Geod 52: 271–284.

Kapička A., Petrovský E., Grison H., 2011. Monitoring of atmospheric dust deposition by using a magnetic method. Air pollution XIX. WIT Trans Ecol Environ 147: 363–371.

Konieczyński J., 2010. Właściwości pyłu respirabilnego emitowanego z wybranych instalacji. Prace i Studia, 79, IPIŚ PAN, Zabrze.

Kubicz J., 2014. Health risk assessment for allotment gardens inWrocław (in polish). Econ Environ 1(48): 154–163.

Lis J., Pasieczna A., 1995. Geochemical Atlas of Poland. PGI, Warszawa.

Liu Q., Roberts A.P., Larrasoaña J.C., Banerjee S.K., Guyodo Y., Tauxe L., Oldfield F., 2012. Environmental magnetism: Principles and applications, Rev Geophys 50: RG4002.

Liu X., Song Q., Tang Y., Li W., Xu J., Wu J., Wang F., Brookes P.C., 2013. Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: A multi-medium analysis. Sci Total Environ 463–464: 530–540.

Lourenço A.M., Sequeira E., Sant'Ovaia H., Gomes C.R., 2014. Magnetic, geochemical and pedological characterization of soil profiles from different environments and geological backgrounds near Coimbra, Portugal. Geoderma 213: 408–418.

Łukasik A., Szuszkiewicz M., Magiera T., 2015. Impact of artifacts on topsoil magnetic susceptibility enhancement in urban parks of the Upper Silesian conurbation datasets. J Soils Sediments 15: 1836–1846.

Maier G., Scholger R., 2004. Demonstration of connection between pollutant dispersal and atmospheric boundary layers by use of magnetic susceptibility mapping, St. Jacob (Austria). Phys Chem Earth 29: 997–1009.

Magiera T., Gołuchowska B., Jabłońska M., 2013a. Technogenic magnetic particles in alkaline dusts from power and cement plants. Water Air Soil Pollut 224(1389): 1–17.

Magiera T., Jabłońska M., Strzyszcz Z., Rachwał M., 2011. Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts. Atmos Environ 45: 4281–4290.

Magiera T., Rachwał M., Łukasik A., 2013b. Soils of urban forests and parks of the Upper Silesia Region. In: Charzyński P., Hulisz P., Bednarek R. (Eds.), Technogenic Soils of Poland. Polish Society of Soil Science, Toruń, 301–319.

Magiera T., Strzyszcz Z., Jabłońska M., Bzowska G., 2010. Characterization of magnetic particulates in urban and industrial dusts. In: Brebbia CA Longhurst JWS (eds) Air pollution XVIII. Transactions on ecology and the environment, vol. 136. WIT, Southampton, 171–184.

Magiera T., Strzyszcz Z., Kapička A., Petrovský E., 2006. Discimination of Lithogenic and Anthropogenic Influences on Topsoil Magnetic Susceptibility in Central Europe. Geoderma 130: 299–311.

Maher B.A., 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 137(1-2): 25-54.

Malinowska E., Szefer P., Falandysz J., 2004. Metals bioaccumulation by bay bolete, Xerocomus badius, from selected sites in Poland. Food Chem 84, 405–416.

Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Terelak H., 2008. Monitoring of the total content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in arable soils in Poland. Chemosphere 73: 1284–1291.

Mardon S.M., Hower J.C., O'Keefe J.M.K., Marks M.N., Hedges D.H., 2008. Coal combustion by-product quality at two stoker boilers: coal source vs. fly ash collection system design. Int J Coal Geol 75: 248–254.

Matýsek D., Raclavská H., Raclavský K., 2003. Magnetic susceptibility and contamination of forest soils at Morevo-Silesian Beskydy Mountains and Piedmont area, Czech Republic. Krystalinikum 29: 31–46.

Maxbauer D.P., Feinberg J.M., Fox D.L., 2016. Magnetic mineral assemblages in soils and paleosols as the basis for paleoprecipitation proxies: A review of magnetic methods and challenges. Earth-Sci Rev 155: 28–48.

Müller G., 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, J Geol 2: 108–118.

Peryea F.J., Kammereck R., 1997. Phosphate-enhanced movement of arsenic out of lead arsenate-contaminated topsoil and through uncontaminated subsoil. Water Air Soil Pollut. 93 (1–4): 243–254.

Petrovský E., Ellwood B.B., 1999. Magnetic monitoring of air-, land-, and water-pollution. In: Maher B.A., Thompson R. (ed.), Quaternary climates, environments and magnetism. Cambridge: University press, 279–322.

Qing X., Yutong Z., Shenggao L., 2015. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. Ecotoxicol Environ Saf 120: 377–385.

Rozporządzenie Komisji Wspólnot Europejskich 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.

Schibler L., Boyko T., Ferdyn M., Gajda B., Höll S., Jordanova N., Rösler W. and the Magprox team, 2002. Topsoil magnetic susceptibility mapping: data reproducibility and compatibility, measurement strategy. Stud geophys geod 46: 43–57.

Schmidt A., Yarnold R., Hill M., Ashmore M., 2005. Magnetic Susceptibility as proxy for heavy metal pollution: A site study. J. Geochem Explor, 85: 109–117.

Simon J.A., Sobieraj J.A., 2006. Contributions of common sources of polycyclic aromatic hydrocarbons to soil contamination. Remed J 23: 25–35.

Spassov S., Egli R., Heller F., Nourgaliev D.K., Hannam J., 2004. Magnetic quantification of urban pollution sources in atmospheric particulate matter. Geophys J Int 159: 555–564.

Spiteri C., Kalinski V., Rösler W., Hoffmann V., Appel E. and MAGPROX-Team, 2005. Magnetic screening of a pollution hotspot in the Lausitz area, eastern Germany: correlation analysis between magnetic proxies and heavy metal pollution. Environ Geol 49: 1–9.

Strzyszcz Z., 1993. Magnetic Susceptibility in Soils in the Areas Influenced by Industrial Emissions. Soil Monitoring, Monte Verita. Birkhauser Verlag, 255–269.

Strzyszcz Z., 1995. Gehalt an Ferromagnetika in den von der Immision der Zement-industrie in der Wojewodschaft Opole beeinflußten Böden. Mitt Dtsch Bodenkundl Gesellsch 76: 1477–1480.

Strzyszcz Z., Bednarek T., 2004. Magnetic susceptibility and heavy metal content in upper horizons of forest soil in areas with low pollution influx. Mitt Dtsch Bodenkundl Gesellsch 103: 107-108.

Strzyszcz Z., Magiera T., 1998. Magnetic Susceptibility and Heavy Metal Contamination in Soils of Southern Poland. Phys Chem Earth 23(9-10): 1127-1131.

Strzyszcz Z., Magiera T., Rachwał M., 2006. Application of soil magnetometry for identification of technogenic anomalies of trace metals and iron contents: a case study in the Katowice Forest District. Pol J Environ Stud 15(2a): 176–184.

Strzyszcz Z., Tolle R. and Katzur J., 1988. Zur Anwendung eines hochfrequenten Messverfahrens für den Nachweis von ferromagnetischen Eisen in der Umwelt. Arch Environ Prot 3–4: 137–143.

Szmajda P., 1994. Teoretyczne podstawy bioindykacji. [w] Burchardt L. (red.). Teoria i praktyka badań ekologicznych. Sorus, Poznań, 3–25.

Thompson R., Oldfield F., 1986. Environmental Magnetism. Allen&Unwin, London.

Tobiszewski M., Namieśnik J., 2012. PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources. Environ Pollut 162: 110–119.

Tomlinson D.L., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffrey D.W., 1980. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. Helgolander Meeresun, 33:566–575.

USEPA, 2014. US Environmental Protection Agency. OSWER Directive 9200.1–120 and FAQ. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.

Varol M., 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. J Hazard Mater 195: 355–364.

Wang G., Zeng C., Zhang F., Zhang Y., Scott C.A., Yan X., 2017. Traffic-related trace elements in soils along six highway segments on the Tibetan Plateau: Influence factors and spatial variation. Sci Total Environ 581–582: 811–821.

Wawer M., Magiera T., Ojha G., Appel E., Kusza G., Hu S., Basavaiah N., 2015. Traffic-Related Pollutants in Roadside Soils of Different Countries in Europe and Asia. Water Air Soil Pollut 226: 216.

Wilhelm M., Ghosh J.K., Su J., Cockburn M., Jerrett M., Ritz B., 2012. Traffic-related air toxics and term low birth weight in Los Angeles County, California. Environ Health Persp 120(1): 132-138.

Wiseman C.L.S., Zereini F., Püttmann W., 2015. Metal and metalloid accumulation in cultivated urban soils: A medium-term study of trends in Toronto, Canada. Sci Total Environ 538: 564–572.

WSDE – Washington State Department of Ecology, 2007. Evaluating the Toxicity and Assessing the Carcinogenic Risk of Environmental Mixtures using Toxicity Equivalency Factors. <https://fortress.wa.gov/ecy/clarc/ FocusSheets/tef.pdf>.

Yuan G.-L., Sun T.-H., Han P., Li J., Lang X.-X., 2014. Source identification and ecological risk assessment of heavy metals in topsoil using environmental geochemical mapping: typical urban renewal area in Beijing, China. J Geochem Explor 136: 40–47.

Zajusz-Zubek E., Konieczyński,J., 2014. Coal cleaning versus the reduction of mercury and other trace element's emissions from coal combustion processes. Arch Environ Prot 40: 115–127.

Zawadzki J., Magiera T., Strzyszcz Z., 2004. Correlation and regression analysis of heavy metal content and magnetic susceptibility in soils from Upper Silesian Industrial Region. Arch Environ Prot 30: 71–82 (in Polish).

Zawadzki J., Magiera T., Fabijańczyk P., 2008. Geostatistical evaluation of magnetic indicators of forest soil contamination with heavy metals. Stud Geophys Geod 53: 133–149.

Zawadzki J., Fabijańczyk P., Magiera T., Rachwał M., 2015. Geostatistical microscale study of magnetic susceptibility in soil profile and magnetic indicators of potential soil pollution. Water Air Soil Poll 226(5): art. nr 142.

Zhu Z., Li Z., Bi W., Han Z., Yu G., 2013. Response of magnetic properties to heavy metal pollution in dust from three industrial cities in China. J Hazard Mater 246–247: 189–198.

Zhu Y., Yang L., Yuan Q., Yan Ch., Dong C., Meng Ch., 2014. Airborne particulate polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution in a background site in the North China Plain: concentration, size distribution, toxicity and sources. Sci Total Environ 466–7: 357–368.

Marzena Rachwał