

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko

Beata Górka – Kostrubiec

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku uzyskania oraz rozprawy doktorskiej.
1990 - magister fizyki, Instytut Fizyki, Uniwersytet Śląski w Katowicach, praca magisterska pt. „*Odpowiedz detektorów termoluminescencyjnych umieszczonych w fantomie tkankopodobnym na wiązkę elektronów o energii 6, 9, 12, 21 MeV*”,
2000 - doktor nauk technicznych, Wydział Techniki, Uniwersytet Śląski w Katowicach, rozprawa doktorska pt. „*Kinetyka zaniku defektów strukturalnych i ich wpływ na przebieg odwracalnej przemiany martenzytycznej w stopach miedzi*”.
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:
1990r asystent w Instytucie Fizyki i Chemii Metali Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach,
1995-2000 studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach,
2000-2008 adiunkt w Instytucie Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach,
2008 – obecnie adiunkt w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie
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. Nr 65, poz.595 ze zm.):
 - a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego:

Właściwości magnetyczne związków żelaza zastosowane do oceny zanieczyszczenia powietrza wewnątrz budynków

- b) (autor / autorzy, tytuł / tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa):
 - [1] Jeleńska, M., Górka-Kostrubiec, B., Król, E. (2011). *Magnetic properties of dust as indicators of indoor air pollution. Preliminary results*. Management of Indoor Air Quality (ed. Dudzińska); Taylor & Francis Group, London, pp. 129-136.
 - [2] Król E., Górka-Kostrubiec, B., Jeleńska, M. (2013). *The magnetometric study of indoor air pollution inside flats located in Warsaw and its suburbs*. Environmental Engineering IV – Pawłowski, Dudzińska & Pawłowski (ed) Taylor & Francis Group, London, pp. 323-328.
 - [3] Górka-Kostrubiec, B., Jeleńska, M., Król, E. (2014). *Magnetic signature of indoor air pollution: Household dust study*. Acta Geophysica, 62, pp.1478-1503, DOI:10.2478/s11600-014-0238-1.
 - [4] Górka-Kostrubiec, B. (2015). *The magnetic properties of indoor dust fractions as markers of air pollution inside buildings*. Building and Environment, 90, pp. 186-195, DOI:10.1016/j.buildenv.2015.03.034.
 - [5] Szczepaniak-Wnuk, I., Górka-Kostrubiec, B. (2016). *Magnetic particles of indoor dust as marker of pollution emitted by different outside sources*. Studia Geophysica et Geodaetica, 60, pp. 279-315, DOI:10.007/s11200-015-1238-6
 - [6] Górka-Kostrubiec, B., Szczepaniak-Wnuk, I. (2016). *Magnetic study of a mixture of magnetite and metallic iron in indoor dust samples*. Air Quality, Atmosphere & Health, DOI:10.1007/s11869-016-0412-5 (Open Access).

- c) omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

W dotychczasowej pracy naukowej specjalizowałam się w eksperymentalnych badaniach właściwości różnych materiałów, stosując do ich pomiarów metody magnetyczne, resystometryczne i mechaniczne. W latach 2000-2008, pracując w Instytucie Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach prowadziłam badania właściwości stopów wykazujących efekt pamięci kształtu oraz stopów amorficznych. Krótką charakterystykę tych badań wraz ze spisem publikacji przedstawiłam w dalszej części autoreferatu, w której omawiane są pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze.

Od 2008 roku jestem zatrudniona w Instytucie Geofizyki PAN w Warszawie i prowadzę badania naukowe w Zespole Paleomagnetyzmu w grupie badawczej magnetyzmu środowiskowego. Zaproponowana mi tematyka badań pozwoliła na wykorzystanie zdobytej wiedzy i doświadczeń w Instytucie Nauki i Materiałach do realizacji zadań eksperymentalno-badawczych w dziedzinie magnetyzmu środowiskowego.

W latach 2008 - 2016 wraz z współpracownikami prowadziłam zaawansowane badania środowiska, wykorzystując metody magnetyczne do:

- a) badań właściwości magnetycznych różnych typów gleb, ich horyzontów genetycznych oraz procesów glebotwórczych (pedogenezy),
- b) badań zanieczyszczeń akumulowanych w glebach np. w pobliżu arterii komunikacyjnych,
- c) badań zanieczyszczenia atmosfery na podstawie pomiarów cząstek pyłu zawieszonego (w ang. *particular matter; PM*) w Warszawie w latach 1977-1985 oraz do badań bieżących zanieczyszczeń atmosfery w centrum Warszawy i Kijowa.

Omówienie w/w tematyki prac, których jestem współautorką, zamieściłam w dalszej części autoreferatu zawierającej pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze.

W okresie od 2010 do 2016 powstał monotematyczny cykl sześciu publikacji obejmujących badania właściwości magnetycznych związków żelaza, które zastosowano do oceny zanieczyszczeń powietrza wewnątrz budynków mieszkalnych. Prace te przedstawiam, jako podstawę do oceny moich osiągnięć naukowych w procedurze ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego. Monotematyczny cykl publikacji, stanowiących znaczący wkład w dziedzinę wiedzy na temat badań zanieczyszczeń powietrza wewnątrz budynków metodami magnetycznymi omówię w kolejności, w jakiej publikacje powstawały. Wiodące tematy, którym były poświęcone poszczególne prace, prezentuje poniżej.

1. Testowanie możliwości zastosowania metod magnetycznych do badania zanieczyszczeń powietrza wewnątrz budynków dla małej kolekcji próbek kurzu domowego.
2. Opracowanie metody analizy przestrzennego rozkładu podatności magnetycznej próbek kurzu domowego zastosowanej do oceny poziomu zanieczyszczenia powietrza w mieszkaniach w dużej aglomeracji miejskiej.
3. Identyfikacja mineralogii magnetycznej, struktury domenowej i wielkości cząstek magnetycznych kurzu domowego. Ustalenie zależności pomiędzy podatnością magnetyczną a koncentracją metali ciężkich i toksycznych pierwiastków śladowych, zastosowanie do analizy tzw. indeksu PLI (z ang. *Pollution Load Index*).

4. Magnetyczna charakterystyka granulometrycznych frakcji kurzu domowego – porównanie właściwości próbek kurzu pobranych z mieszkań położonych na obszarach o wysokim i niskim poziomie zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego.
5. Zastosowanie metod magnetycznych do oceny poziomu zanieczyszczenia powietrza w budynkach mieszkalnych położonych na obszarze innego miasta.
6. Właściwości magnetyczne kurzu domowego zawierającego mieszaninę magnetytu z metalicznym żelazem.

Wstęp – motywacja podjęcia badań

Poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego i wewnątrz pomieszczeń jest jednym z ważniejszych czynników wpływających na jakość życia ludzi. Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego znajduje się w centrum uwagi i badań naukowych od kilku dziesięcioleci. Efektem tych badań jest ukazanie się wielu publikacji naukowych na temat poziomu, rozkładu oraz dynamiki powstawania i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń atmosferycznych, oraz powstanie systemów monitorujących zanieczyszczenia powietrza na obszarach szczególnie narażonych na ich emisję.

Obecnie obserwuje się stale rosnące zainteresowanie naukowców skierowane, na jakość powietrza wewnętrznego w budynkach mieszkalnych oraz użyteczności publicznej np. szkołach, przedszkolach, szpitalach, biurach, fabrykach itp. Z danych Światowej Organizacji Zdrowia (np. Raport WHO, 2012) wynika, że ponad 1,5 miliona zgonów rocznie zanotowanych na świecie i 2,7% całkowitego obciążenia chorobami układu oddechowego, układu krążenia, układu immunologicznego i innymi chorobami jest związane z zanieczyszczeniem powietrza wewnątrz pomieszczeń. W społeczeństwach rozwiniętych ludzie spędzają średnio ponad 90% swojego czasu wewnątrz budynków (de Bruin i inni, 2008). Związane z tym ryzyko zdrowotne spowodowało szybki rozwój badań mających na celu poznanie mechanizmów transportu zanieczyszczeń z zewnątrz do wewnątrz budynków, wskazanie źródeł ich pochodzenia i czynników mających wpływ na poziom zanieczyszczenia powietrza w budynkach.

Spśród różnych źródeł emitujących zanieczyszczenia do środowiska należy wymienić: (a) procesy technologiczne związane z działalnością przemysłową, w tym zwłaszcza hutnictwo, produkcję cementu i nawozów sztucznych, (b) procesy związane z produkcją ciepła i energii elektrycznej przede wszystkim spalanie paliw kopalnych: węgla kamiennego, brunatnego, ciężkich frakcji ropy naftowej itp. oraz (c) procesy związane z poruszaniem się pojazdów, tzn. spalanie paliw płynnych oraz nie-spalinową emisję zanieczyszczeń. Hjortenkrans i współpracownicy (2007) analizując obecne stałe tempo wzrostu natężenia ruchu samochodowego na obszarze Sztokholmu pokazali, że wkrótce ponad 50% całkowitej emisji metali ciężkich i innych pierwiastków toksycznych do powietrza i gleby będzie pochodziło z tzw. nie-spalinowej emisji zanieczyszczeń, tzn. ścierania opon samochodowych, klocków i tarcz hamulcowych, nawierzchni asfaltowej dróg oraz z korozji metalowych części nadwozi i podwozi samochodowych.

Wnioski z cytowanej powyżej pracy wraz z wieloma innymi, dostępnymi w literaturze badaniami, skłaniają do poszukiwania i wdrażania nowych metod takich jak metody magnetyczne (magnetometria), do badania zanieczyszczenia środowiska. Zastosowanie magnetometrii do oceny zanieczyszczenia środowiska bazuje na ogólnym założeniu, że zanieczyszczenia emitowane między innymi w procesach technologicznych przez przemysł, elektrociepłownie i w procesach związanych z poruszaniem się pojazdów, zawierają frakcje magnetycznych tlenków,

siarczków, wodorotlenków i innych związków żelaza. W metodzie magnetycznej mierzone są parametry magnetyczne, w szczególności podatność magnetyczna (χ), zanieczyszczonych gleb, osadów, powietrza, pyłu, kurzu itp., w których obecne są metale ciężkie i inne toksyczne pierwiastki i ich związki. Parametry magnetyczne są czułe na zmiany koncentracji magnetycznych cząstek, natomiast odpowiednia analiza zależności pomiędzy nimi pozwala identyfikować źródła pochodzenia minerałów magnetycznych, w tym rozróżnić źródła naturalne od antropogenicznych (związanych z działalnością człowieka). Należy podkreślić, że metody magnetyczne wykazują trzy ważne cechy a mianowicie: nie niszczą materiału badań, są stosunkowo szybkie i ekonomiczne w zastosowaniu. W czasopismach naukowych pojawia się coraz więcej publikacji, w których magnetometria jest stosowana do badania zanieczyszczeń m.in.: gleby na terenach przemysłowych (Magiera i inni, 2011; Jeleńska i inni, 2008); kurzu pobranego z powierzchni i poboczy dróg (Hoffman i inni, 1999; Kim i inni, 2009; Bucko i inni, 2009; Wang i inni, 2012; Qiao i inni, 2011; Zhang i inni, 2012; Yang i inni, 2014); pyłu zawieszonego (PM) w powietrzu (Sagnotti i inni, 2006; Górka-Kostrubiec i inni, 2012; Castaneda-Miranda i inni, 2014) oraz akumulowanego na powierzchni: roślin, porostów, mchu itp. (Monaci i inni, 2000; Mitchell i inni, 2008; Salo i inni, 2012).

Badania prowadzone od 2010 roku w Instytucie Geofizyki PAN przez grupę Magnetyzmu Środowiskowego są pierwszymi, w których zastosowano magnetometrię do oceny poziomu zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań na podstawie pomiarów próbek kurzu domowego. Nasze prace opublikowane w latach 2011 - 2016 dokumentują związek między zanieczyszczeniem powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynków oraz identyfikują kategorie zanieczyszczeń pochodzące z źródeł zewnętrznych, które w wyniku infiltracji są wykrywane wewnątrz pomieszczeń. W literaturze, oprócz prac, których jestem współautorką, opublikowano tylko dwie prace dotyczące badań powietrza wewnątrz budynków metodami magnetycznymi. Autorami pierwszej z nich są Halsall i współpracownicy (2008). W pracy badano cząstki zanieczyszczeń powietrza akumulowane na filtrach w pobornikach pyłu PM, które były usytuowane w budynkach o różnym przeznaczeniu: mieszkaniach, biurach i szkołach. Celem pracy było wskazanie korelacji pomiędzy parametrami magnetycznymi, tj. remanencją nasycenia (M_{rs}) a koncentracją wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) (w ang. *polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs*), obecnych w powietrzu wewnętrznym i zewnętrznym. Celem drugiej pracy opublikowanej w 2012r. (tuż po naszej pierwszej publikacji) przez Jordano i współpracowników było zidentyfikowanie cząstek zanieczyszczeń transportowanych do wewnątrz budynków. W pracy badano właściwości magnetyczne próbek kurzu pobranych z zewnątrz i wewnątrz budynków szkolnych, położonych w sześciu miastach w Bułgarii.

Z moich doświadczeń wynika, iż kurz domowy jest dobrym materiałem badań, który odzwierciedla poziom zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań i równocześnie pozwala zastosować magnetometrię do jego oceny. Kurz domowy stanowi rezerwuuar materii organicznej i nieorganicznej pochodzącej z naturalnych i antropogenicznych źródeł wewnętrznych i zewnętrznych. Cząstki pochodzące ze spalania gazu w kuchenkach i drewna w kominkach, popiół z papierosów, chemikalia domowe, cząstki emitowane z mebli użytkowych oraz aktywność mieszkańców należą do głównych wewnętrznych źródeł zanieczyszczenia powietrza w mieszkaniach (Martuzevicius i inni, 2008). W środowisku miejskim, zewnętrzne cząstki zanieczyszczeń, będące składnikiem kurzu domowego, pochodzą głównie z procesów spalania i poruszania się pojazdów oraz produkcji energii elektrycznej i ciepłej (Kingham i inni, 2000; Wahlin i inni, 2006; Thorpe i Harrison et al., 2008; Zhang i inni, 2012). Kurz domowy jest najczęściej rozpatrywany,

jako źródło alergenów, nie docenia się natomiast jego roli jako źródła niebezpiecznych substancji chemicznych, w szczególności zaś metali ciężkich i toksycznych pierwiastków śladowych. Obecność toksycznych pierwiastków w powietrzu może skutkować wieloma niepożądanymi efektami zdrowotnymi, szczególnie niebezpiecznymi dla małych dzieci. Dzieci ze względu na mniejszą masę ciała w stosunku do dorosłych oraz częsty i bezpośredni kontakt z zanieczyszczonymi przedmiotami podczas zabaw, są narażone na podwyższoną ekspozycję na zanieczyszczenia.

Omówienie poszczególnych prac

Ad. [1].

Wstępne badania poziomu zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego rozpoczęto w 2010 roku i były prowadzone dla małej grupy próbek kurzu domowego, pobranego z kilkunastu (12) mieszkań w Warszawie (Jeleńska, M., Górka-Kostrubiec, B., Król, E., 2011). Badania polegały na pomiarach masowej podatności magnetycznej, która jest proporcjonalna do całkowitej koncentracji magnetycznych cząstek w próbce. Ilość magnetycznych cząstek w kurzu domowym zależy głównie od zewnętrznych i/lub wewnętrznych źródeł. Z dostępnej literatury (See i Balasubramanian, 2006; Langer i inni, 2010; Wan i inni, 2011) wiadomo, że gotowanie, smażenie i używanie kuchenek gazowych generuje bardzo drobne cząstki (14,5-100nm) składające się głównie z ftalanów (w ang. phthalates) i WWA. Spośród pozostałych wewnętrznych źródeł, głównie popiół pochodzący ze spalania drewna w kominkach i popiół z papierosów, zawierają cząstki magnetyczne (Jordanova i inni, 2006), w których składzie obecnych jest około 50% bardzo drobnych ziaren superparamagnetycznych (SP). Badania powietrza w budynkach mieszkalnych, szkołach itp., prowadzone metodami niemagnetycznymi pokazały, że przy stosunkowo niskim poziomie emisji zanieczyszczeń ze źródeł wewnętrznych, głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego są cząstki pochodzące z zewnętrznych źródeł. Autorzy wskazują, że w centrum dużych miast poziom zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego zależy od natężenia ruchu pojazdów i jest najwyższy w godzinach szczytu, w dni robocze (Kulmala i inni, 1999; Kingham i inni, 2000; Chao, 2001; He i inni, 2004; Martuzevicius i inni, 2008; Layton i Beamer, 2009; Guo i inni, 2010). W środowisku miejskim głównym emitorem zanieczyszczeń zewnętrznych są procesy związane z poruszaniem się pojazdów (samochodów, autobusów i tramwajów).

W pracy materiałem badań była magnetyczna frakcja kurzu domowego, pobranego z powierzchni podłóg i mebli w mieszkaniach na terenie Warszawy. Kurz pobierano za pomocą odkurzaczy podczas rutynowego sprzątania mieszkań przez ich mieszkańców. Do badań wybrano mieszkania położone w budynkach w centrum miasta, w pobliżu głównych dróg o dużym natężeniu ruchu pojazdów oraz na przedmieściach Warszawy, tj. na obszarze o stosunkowo niskim poziomie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Wybrane mieszkania były zróżnicowane pod względem piętra w budynku, a także ich położenia względem ulicy i podwórka.

Dla próbek kurzu domowego badano parametry magnetyczne pozwalające określić mineralogię, koncentrację cząstek magnetycznych oraz rozmiar i strukturę domenową ziaren. Mierzono m.in.: (a) podatność magnetyczną na jednostkę masy (χ); (b) pętle histerezy magnetycznej i jej parametry: namagnesowanie (magnetyzację) nasycenia (M_s), remanencję nasycenia (M_{rs}), pole koercji (H_c) i koercję remanencji (H_{cr}) oraz krzywe termomagnetyczne, tj. zmiany izotermicznej remanencji nasycenia (z ang. *saturation isothermal remanence magnetization*; *SIRM*) od temperatury

(zakres od 20°C do 700°C), z których wyznaczono temperatury rozblokowujące (T_{ub}) SIRM charakterystyczne dla poszczególnych minerałów magnetycznych.

Jedne z najwyższych wartości podatności magnetycznej otrzymano dla kurzu pobranego z mieszkań w centrum miasta. Podobne wartości wykazywały również próbki z mieszkań położonych w budynkach poza centrum, bezpośrednio przy ruchliwych ulicach. Nie stwierdzono znaczącej różnicy w wartościach podatności magnetycznej próbek pobranych z mieszkań położonych w budynku na tym samym piętrze, ale z oknami skierowanymi na ulicę i na podwórko.

Na podstawie temperatur T_{ub} stwierdzono, że frakcja magnetyczna kurzu domowego zawiera głównie magnetyt. Porównanie krzywych SIRM(T) dla kurzu domowego i dla powierzchniowych próbek gleby pobranych z poboczy ruchliwych ulic w Warszawie (Górka-Kostrubiec i inni, 2012) pokazały, że gleba oprócz magnetytu i/lub maghemite, o stosunkowo grubych ziarnach, zawiera także hematyt. Na tej podstawie, niewielkie ilości hematytu, które były obserwowane w kurzu domowym z mieszkań położonych na przedmieściach Warszawy zinterpretowano, jako pochodzące z naturalnych źródeł, tj. gleby wzbogaconej w ten rodzaj tlenku żelaza. Analizę struktury domenowej przeprowadzono m. in. na podstawie diagramu Daya-Dunlop'a (Dunlop, 2002a, b), na którym zaznaczone są obszary odpowiadające stosunkom parametrów histerezy: M_{rs}/M_s i H_{cr}/H_c dla odpowiednich rodzajów domen magnetycznych. Analiza wykazała, że frakcja magnetyczna kurzu domowego zawiera ziarna magnetytu, które są mieszaniną ziaren wielodomenowych (w ang. *multi-domain; MD*) z niewielkim udziałem ziaren jednodomenowych (w ang. *single-domain; SD*). Malejący trend zaobserwowany pomiędzy wartościami pola koercji H_c a podatnością magnetyczną zinterpretowano jako zróżnicowanie w mineralogii cząstek magnetycznych. Wynik ten wymagał przeprowadzenia bardziej szczegółowej analizy dla większej ilości próbek.

Rezultaty wstępnych badań pokazały, że cząstki magnetyczne zawarte w kurzu domowym mogą być potencjalnym wskaźnikiem poziomu zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań. Magnetometria, może być z powodzeniem zastosowana, jako narzędzie do badania powietrza wewnątrz mieszkań na podstawie pomiarów próbek kurzu domowego.

Ad. [2].

Badania opublikowane w pracy Król E., Górka-Kostrubiec B., Jeleńska M. (2013) były prowadzone w ramach projektu „Odkurzona Warszawa”, we współpracy Instytutu Geofizyki PAN z firmą Miele Co. Ltd. Sekcja Polska. W badaniach zastosowano metodę magnetyczną, tj. pomiary podatności magnetycznej (parametr proporcjonalny do stężenia cząstek magnetycznych) próbek kurzu domowego do oceny poziomu zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań w różnych dzielnicach Warszawy. Badania objęły dużą kolekcję około 195 próbek kurzu, które pobrano z mieszkań położonych w budynkach przy ruchliwych arteriach komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu pojazdów, w stosunkowo mało zanieczyszczonych częściach miasta, w sąsiedztwie terenów zielonych (przy parkach, skwerach itp.), na przedmieściach i w typowo mieszkaniowych dzielnicach Warszawy. Metoda pobrania próbek była taka sama jak dla kolekcji testowej i jest szczegółowo opisana w poprzedniej pracy (Jeleńska, M., Górka-Kostrubiec, B., Król, E., 2011). W przypadku tej kolekcji, próbki pobierano dwukrotnie, z tych samych mieszkań, w okresie od 15 kwietnia do 15 maja 2011 roku i powtórnie od 15 września do 15 października 2011r. Równocześnie każda osoba pobierająca

próbki proszona była o wypełnienie ankiety i podanie szczegółowych informacji dotyczących: lokalizacji mieszkania (odległość od ruchliwych dróg, rodzaju komunikacji miejskiej; autobusy, tramwaje, pociąg itd.), piętra, na którym położone było mieszkanie, wyposażenia mieszkania (rodzaj ogrzewania, rodzaj kuchenek używanych do gotowania; elektryczne lub gazowe). Pytano także o obecność w mieszkaniach zwierząt domowych oraz o zwyczaje i rodzaj aktywności mieszkańców, tj. liczbę osób palących papierosy w mieszkaniu a także hobby, które mogły dodatkowo wpływać na jakość powietrza.

Do oceny poziomu zanieczyszczenia powietrza skonstruowano pięciostopniową skalę podatności magnetycznej kurzu, której wartości zmieniały się w przedziale od minimum $19 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ do maksimum $1541 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Podczas konstruowania skali poszczególne jej zakresy były porównywane z wartościami podatności magnetycznej zanieczyszczonych i niezanieczyszczonych gleb oraz powietrza atmosferycznego w Warszawie. W tym zakresie przydatne były badania zanieczyszczeń atmosferycznych akumulowanych na filtrach w pobornikach pyłu PM w Warszawie, które opublikowano w pracy Górka-Kostrubiec i inni (2012). Wyniki tych badań pokazały malejący trend średnich rocznych wartości podatności magnetycznej PM w zakresie od $250 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ w roku 1977r do $115 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ w roku 1985r.

Dla kurzu domowego przyjęto, że wartości χ , które nie przekraczają $50 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ będą odpowiadały poziomowi tła. Przedział pomiędzy wartością tła a wartością średnią $\chi_{sr} = 100 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ uznano jako niski poziom zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego. Natomiast, wartości χ w przedziale pomiędzy $\chi_{sr} = 100 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ a $150 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ przyjęto za średni poziom zanieczyszczenia. Postępując w podobny sposób przyjęto, że zmiany podatności magnetycznej od $150 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ do $250 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ będą odpowiadały wysokiemu poziomowi zanieczyszczenia. Ekstremalnie wysokie wartości χ , które przekraczały $250 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ uznano jako odpowiadające bardzo wysokiemu poziomowi zanieczyszczenia powietrza.

Skonstruowanie skali dla podatności magnetycznej kurzu domowego, pozwoliło na wykonanie analizy porównawczej poziomu zanieczyszczenia powietrza w mieszkaniach dla całej Warszawy oraz stworzenie mapy rozkładu podatności magnetycznej w poszczególnych dzielnicach. Z analizy rozkładu podatności magnetycznej wynika, że dla ponad połowy mieszkań poziom zanieczyszczenia powietrza można określić, jako niski i średni - tylko dla około 10% próbek kurzu podatność magnetyczną była powyżej $250 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$.

Rozkład przestrzenny poziomu zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań przeprowadzono po podziale całego obszaru miasta Warszawy na dziesięć oddzielnych obszarów. Za kryterium podziału przyjęto poziom i rodzaj emisji zanieczyszczeń z zewnętrznych źródeł, tj. natężenie ruchu pojazdów, obecność źródeł niskiej emisji, położenie mieszkania w sąsiedztwie dużych terenów zielonych: parków, lasów itp. oraz na obrzeżach miasta. Średnie wartości χ dla 10 badanych obszarów zawierały się w przedziale od $102 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ do $155 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, co w przyjętej pięciostopniowej skali odpowiadały średniemu poziomowi zanieczyszczenia. Kurz z mieszkań położonych w centrum miasta i w dzielnicach bezpośrednio przyległych do centrum, zarówno po lewej jak i po prawej stronie rzeki Wisły, wykazywał najwyższe wartości χ a zatem i najwyższe stężenia cząstek magnetycznych. W tej części miasta zanotowano duże różnice pomiędzy wartościami minimalnymi i maksymalnymi podatności magnetycznej, które powiązano z położeniem mieszkań w bliskiej odległości od dróg i skrzyżowań o dużym natężeniu ruchu pojazdów. Podatność magnetyczna kurzu pobranego z mieszkań położonych na przedmieściach nie przekraczała wartości

średniej. Jednakże, w tych dzielnicach zaobserwowano podwyższone wartości χ w sezonie jesienno-zimowo-wiosennym. Wynik powiązano z emisją magnetycznych cząstek z tzw. niskich emitorów zanieczyszczeń, głównie palenisk domowych, lokalnych kotłowni itp.

Badania nie wykazały zależności pomiędzy położeniem mieszkania w budynku (piętrze) a średnią wartością podatności magnetycznej. Zaobserwowano natomiast duże różnice pomiędzy minimalnymi i maksymalnymi wartościami χ dla kurzu z mieszkań położonych na niskich kondygnacjach (parter, pierwsze piętro).

Głównym efektem pracy było opracowanie metody do oceny i analizy poziomu zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań na podstawie pomiarów podatności magnetycznej kurzu domowego, który jest doskonałym rezerwuarem różnego typu zanieczyszczeń. Badania pokazały, że skonstruowanie odpowiedniej skali dla podatności magnetycznej pozwala oceniać i porównywać poziom zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań w dużej aglomeracji miejskiej.

Ad. [3].

Publikacja Górka-Kostrubiec B., Jeleńska M., Król E. (2014) jest rozszerzeniem tematyki badań omawianej w poprzedniej pracy. Jej celem było uzupełnienie badań magnetycznych kurzu domowego prezentowanych w poprzednich pracach m.in. o badania składu mineralnego frakcji magnetycznej, struktury domenowej i rozmiaru ziaren magnetycznych oraz składu pierwiastkowego (analizy chemiczne). Badania prowadzono dla tej samej kolekcji próbek kurzu domowego pobranego z mieszkań w Warszawie, którą analizowano w poprzedniej pracy.

Na podstawie statystycznej analizy rozkładu podatności magnetycznej około 200 próbek kurzu stwierdzono, że histogram jest asymetryczny z przesunięciem w stronę wysokich wartości. Wartość modalna tj. najczęściej występująca, która odpowiada wartości średniej dla rozkładu normalnego, wynosiła $114 \pm 4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Po wyłączeniu próbek, które powodowały asymetrię ($\chi > 220 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$), otrzymano rozkład normalny. Wartość średnia $\chi_{\text{sr}} = 115 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ dla rozkładu normalnego była zbliżona do wartości modalnej dla rozkładu asymetrycznego. Dalsze badania prowadzono równolegle; dla próbek wykazujących rozkład normalny, dla których $\chi = 20 - 220 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (pierwsza grupa) oraz dla próbek, dla których $\chi > 220 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (druga grupa). Celem tego etapu badań było poszukiwanie podobieństw i różnic w mineralogii, w strukturze domenowej i rozmiarze ziaren magnetycznych pomiędzy grupami próbek oraz wskazanie właściwości magnetycznych, które mogłyby tłumaczyć wysoką podatność magnetyczną próbek należących do drugiej grupy.

Do identyfikacji składu mineralnego frakcji magnetycznej zastosowano pomiary krzywych podatności magnetycznej od temperatury $\kappa(T)$. Na podstawie wyznaczonej temperatury Curie $T_c = 570-580^\circ\text{C}$ stwierdzono, że magnetyt jest główną fazą magnetyczną w pierwszej grupie próbek (dla stechiometrycznego magnetytu $T_c = 578^\circ\text{C}$ (Dunlop i Özdemir, 1997)). Wynik ten dodatkowo potwierdziło przejście Verwey'a zaobserwowane na krzywych grzania $\kappa(T)$ w niskotemperaturowym eksperymencie. Próbkę należącą do drugiej grupy również zawierały magnetyt jako dominującą fazę magnetyczną. W tym przypadku na krzywych grzania $\kappa(T)$ powyżej T_c , w zakresie temperatur od 600°C do 700°C , podatność magnetyczna nie osiąga wartości bliskiej zeru, której należy oczekiwać dla fazy paramagnetycznej. Wynik ten sugerował, że próbki z drugiej grupy zawierają oprócz magnetytu, dodatkowy minerał magnetyczny, dla którego T_c

jest powyżej 700°C (przystawka wysokotemperaturowa mostka Kappabridge (Agico) do pomiaru podatności magnetycznej pracuje w zakresie temperatur od 20°C do 700°C).

Stwierdzono, że dla pierwszej grupy próbek podatność magnetyczna linowo korelowała z parametrami histerezy magnetycznej, tj. parametrem M_s zależnym od koncentracji cząstek magnetycznych oraz parametrem M_{rs} , który jest zależny od koncentracji cząstek magnetycznych i dodatkowo jest czuły na strukturę domenową ferro-i ferri-magnetycznych ziaren (Thomson i Oldfield, 1986; Evans i Heller, 2003). Istnienie tych korelacji było pośrednim dowodem potwierdzającym homogeniczną mineralogię frakcji magnetycznej próbek kurzu z pierwszej grupy. Dodatkowo wskazywały, że zmiany parametrów magnetycznych są związane głównie z zmianą koncentracji cząstek magnetycznych. Natomiast słabe korelacje podatności magnetycznej z parametrami M_s i M_{rs} obserwowane w drugiej grupie próbek, sugerowały niehomogeniczny skład mineralny frakcji magnetycznej i/lub zróżnicowanie struktury domenowej ziaren magnetycznych.

Analizę struktury domenowej przeprowadzono między innymi na podstawie diagramu Daya-Dunlop'a (Dunlop, 2002a, b), na którym zaznaczono wartości stosunków parametrów histerezy: M_{rs}/M_s i H_{cr}/H_c dla próbek pierwszej i drugiej grupy. Stwierdzono, że frakcja magnetyczna próbek o homogenicznej mineralogii (składająca się głównie z magnetytu) zawiera mieszaninę ziaren o strukturze jednodomenowej (SD) i wielodomenowej (MD). Dla próbek zawierających głównie magnetyt do określenia wielkości ziaren magnetycznych stosuje się także tzw. model Kinga (King i inni, 1982). W modelu analizowana jest zależność pomiędzy podatnością magnetyczną (parametr czuły na obecność ziaren superparamagnetycznych (w ang. *superparamagnetic grains*; SP)) i bezhisterezową podatnością magnetyczną (parametr czuły na obecność stabilnych ziaren jednodomenowych (z ang. *stable-single-domain*; SSD)). Z modelu wynika, że dystrybucja ziaren magnetycznych zawiera się w przedziale od 0,2µm do 5µm, co odpowiada wielkości ziaren będących na granicy pomiędzy strukturą pseudo-jednodomenową (w ang. *pseudo-single-domain*; PSD) a drobną wielodomenową. Frakcja magnetyczna próbek kurzu o heterogenicznym składzie mineralnym zawierała gruboziarniste ziarna MD.

Charakterystyczną cechą kurzu domowego jest obecność w frakcji magnetycznej niewielkiego, około 10%, udziału bardzo drobnych ziaren superparamagnetycznych. Ponieważ ziarna SP wykazują zależność od częstotliwości pola magnetycznego stąd pomiar podatności magnetycznej w polu magnetycznym w wysokiej (χ_{hf}) i niskiej (χ_{lf}) częstotliwości i wyznaczenie parametru $\chi_{fd} = \chi_{lf} - \chi_{hf}$ daje informację o udziale SP ziaren w próbce. Wartość parametru $\chi_{fd\%} = 100\% \frac{\chi_{fd}}{\chi_{lf}}$ powyżej 4% wskazuje na znaczący udział ziaren SP (Dunlop i Özdemir, 1997), których obecność będzie znacząco wpływała na wzrost podatności magnetycznej. Dla kurzu domowego wartość parametru $\chi_{fd\%}$ zawierały się w przedziale pomiędzy 0,5% i 3,5%. Stosunkowo niskie wartości $\chi_{fd\%}$ wskazywały na stosunkowo niewielki wpływ ziaren SP na wzrost podatności magnetycznej obserwowany dla drugiej grupy próbek.

W obecnej pracy badania właściwości magnetycznych kurzu domowego zostały poszerzone o analizę składu chemicznego (pierwiastkowego), w szczególności o zawartość metali ciężkich. Korelacje pomiędzy parametrami magnetycznymi: podatnością magnetyczną i/lub magnetyzacją nasycenia (M_s) a koncentracją metali ciężkich są podstawą do zastosowania parametrów magnetycznych do oceny poziomu zanieczyszczenia metalami ciężkimi

powietrza wewnątrz budynków. Do analizy koncentracji metali ciężkich (w tym pierwiastków śladowych, które są toksyczne dla istot żywych) zastosowano indeks PLI (Pollution Load Index), który został wprowadzony przez Tomlinson'a (Tomlinson, 1980) do oceny poziomu toksyczności w środowisku biologicznym. Indeks PLI jest definiowany, jako średnia geometryczna koncentracji poszczególnych pierwiastków, znormalizowana do wartości tła (w ang. *background value*) dla każdego z nich (CF_n):

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \cdot CF_2 \cdot \dots \cdot CF_n}, \quad \text{gdzie} \quad CF_n = \frac{C_n}{C_{n(background)}}.$$

Tak zdefiniowany indeks PLI wskazuje ile razy poziom zanieczyszczenia metalami ciężkimi w danej próbce przewyższa poziom tła. Bardzo trudno jest określić poziom tła dla poszczególnych koncentracji metali ciężkich w kurzu domowym. W związku z tym, do obliczeń PLI, jako wartości tła, zostały przyjęte minimalne koncentracje otrzymane dla każdego z analizowanych pierwiastków, które odpowiadały próbce kurzu pobranego z mieszkania położonego w stosunkowo mało zanieczyszczonej części miasta.

Dla próbek kurzu domowego stwierdzono dwie liniowe korelacje pomiędzy podatnością magnetyczną i indeksem PLI. Pierwsza korelacja ($R=0,89$; $P<0,01$) opisywała próbki należące do pierwszej grupy, których podatność magnetyczna zawierała się w przedziale od $20 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ do $220 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Drugą korelację wyznaczono dla próbek, których podatność magnetyczna była powyżej $220 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Magnetyzacja nasycenia (M_s) korelowała liniowo z indeksem PLI podobnie do podatności magnetycznej.

Obserwacje frakcji magnetycznej kurzu domowego przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (w ang. *Scanning Electron Microscopy; SEM*) ujawniły charakterystyczne cząstki o sferycznym kształcie i bardzo zróżnicowanej morfologii powierzchni. Źródłem tych cząstek są między innymi wysokotemperaturowe procesy technologiczne w tym spalania m.in. węgla kamiennego i brunatnego. Oprócz cząstek sferycznych, zaobserwowano nieregularne-ostrokątne cząstki, dla których analiza składu chemicznego wykonana metodą spektroskopii rentgenowskiej z dyspersją energii (w ang. *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy analysis; EDS*) wykazała obecność żelazo oraz Na, Ca, Al, K, S, Mn, Cl i Mg. W ekstrakcie magnetycznym kurzu wyróżniały się cząstki o charakterystycznym wydłużonym kształcie podobnym do „wiórków”, które zawierały głównie Fe, O i C. Kształt tych cząstek oraz obecność żelaza może wskazywać, że ich źródłem są procesy związane ze ścieraniem się metalowych części pojazdów takich jak tarcze, bębny i klocki hamulcowe.

Końcowym wynikiem przeprowadzonych badań było ustalenie korelacji pomiędzy podatnością magnetyczną a koncentracją metali ciężkich (indeksem PLI). Stwierdzono, że magnetyczna frakcja kurzu domowego pobranego z około 90% mieszkań w Warszawie ma homogeniczną mineralogię, zawiera głównie magnetyt. Dystrybucja ziaren magnetycznych zawiera się w przedziale od $0,2 \mu\text{m}$ do $5 \mu\text{m}$, co odpowiada wielkości ziaren będących na granicy pomiędzy strukturą PSD a drobną MD. Wynik wskazuje, że różnice w wartościach parametrów magnetycznych χ i M_s można interpretować jako zmiany w koncentracji magnetycznych cząstek, które wynikają z różnego poziomu zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań.

Ad.[4].

Celem mojej następnej pracy (Górka-Kostrubiec B., 2015) było porównanie granulometrycznych frakcji kurzu domowego pobranego z mieszkań położonych w budynkach w centrum miasta i na przedmieściach Warszawy. Do badań wybrano dwa mieszkania podobne pod względem piętra, powierzchni, aktywności i zwyczajów mieszkańców. Pierwsze mieszkanie położone było w centrum miasta, w niewielkiej odległości od ulic i skrzyżowań o dużym natężeniem ruchu samochodów, tramwajów i autobusów. Drugie mieszkanie położone było w stosunkowo mało zanieczyszczonej, mieszkaniowej dzielnicy Warszawy, w bliskiej odległości od dwóch lokalnych dróg o średnim natężeniu ruchu samochodów w godzinach porannych i popołudniowych. Do badań przygotowano pięć granulometrycznych frakcji kurzu (1-0,5mm, 0,5-0,25mm, 0,25-0,1mm, 0,1-0,071mm i mniejsze niż 0,071mm), które otrzymano metodą frakcjonowania, używając standardowego zestawu sit do analizy granulometrycznej.

Krzywe termomagnetyczne $\kappa(T)$ wykazały różnice w mineralogii magnetycznej w poszczególnych frakcjach granulometrycznych. Gruboziarniste frakcje kurzu (1-0,5mm, 0,5-0,25mm) z obu mieszkań zawierały magnetyt, który był głównie odpowiedzialny za ich właściwości magnetyczne. Na podstawie analizy parametrów pętli histerezy na diagramie Daya-Dunlop'a stwierdzono, że frakcja magnetyczna jest mieszaniną ziaren jednodomenowych i wielodomenowych (SD+MD).

Frakcje średnioziarnista (0,25-0,1mm) i drobnoziarniste (0,1-0,071mm i <0,071mm) oprócz magnetytu zawierały dodatkowy minerał magnetyczny, którego temperatura Curie była powyżej 700°C. Na tym etapie badań przyjęto, że prawdopodobnie jest to metaliczne żelazo lub jego stopy. Minerał ten był trudny do zidentyfikowania, ponieważ większość urządzeń używanych w badaniach paleomagnetycznych i magnetycznych skał pracuje w przedziale temperatur od 20°C do 700°C, w którym zawierają się temperatury Curie minerałów magnetycznych, naturalnie występujących w skałach i glebach. Dla frakcji średnio- i drobno-ziarnistych pętle histerezy były stosunkowo wąskie, z typowymi dla miękkich minerałów magnetycznych wartościami koercji $H_c = 4,0-8,5\text{mT}$ oraz polem saturacji namagnesowania około 300mT. Niższe wartości pola koercji i remanencji oraz wyższe wartości magnetyzacji nasycenia w stosunku do próbek zawierających tylko magnetyt powodowały, że na diagramie Daya-Dunlopa stosunki parametrów M_{rs}/M_s i H_{cr}/H_c dla frakcji 0,25-0,1mm, 0,1-0,071mm i <0,071mm zajmowały obszar charakterystyczny dla ziaren MD.

W próbkach kurzu pobranych z obu mieszkań podatność magnetyczna rosła wraz ze zmniejszaniem się rozmiaru ziaren (rozdrobieniem granulometrycznym). Kurz z mieszkania z przedmieścia zawierał wyższą koncentrację cząstek magnetycznych w frakcjach grubo- i średnio-ziarnistych w stosunku do kurzu z mieszkania w centrum miasta. Natomiast, dla frakcji najdrobniejszych większą ilość cząstek magnetycznych zawierał kurz z mieszkania z centrum miasta.

Na obrazach ze skaningowego mikroskopu elektronowego zaobserwowano znaczące różnice w morfologii i składzie chemicznym cząstek magnetycznych poszczególnych frakcji granulometrycznych. W frakcjach gruboziarnistych obecne były głównie cząstki o nieregularnym kształcie (w ang. *irregularly-shaped*), które zawierały żelazo z wysoką koncentracją takich pierwiastków jak: Si, Al i Ca oraz niewielką ilością: Ti, Mg, C, O, P, K i Mn. Magnetyczny ekstrakt frakcji średnioziarnistej był zdominowany przez wydłużone cząstki podobne do „wiórków”, które zawierały głównie metaliczne żelazo. Inne cząstki o nieregularnym kształcie obecne w tej frakcji zawierały również żelazo oraz

dodatkowo Ca, Mg, Si, Ti, K, Al. i Ba. Najdrobniejsze frakcje granulometryczne zdominowane były przez sferyczne cząstki o bardzo zróżnicowanej morfologii powierzchni, w literaturze anglosaskiej określane, jako: *orange-peel*, *hexagonal-pattern* i *thread-like*.

Tylko w kurzu z centrum miasta obecne były sferyczne cząstki o powierzchni przypominającej drobne kryształki (z ang. *druse-like*), które zawierały: Fe, C, O, Mg, Al, Ca i Si. Podobnie, tylko w najdrobniejszej frakcji kurzu z przedmieścia, zaobserwowano wysłużone cząstki o nieregularnym kształcie zawierające: Fe, Ba, Mo, W, V i Cr.

Dysponując bardzo szczegółowym opisem właściwości i morfologii cząstek magnetycznych istnieje możliwość identyfikacji ich źródeł pochodzenia na podstawie porównania z informacjami dostępnymi w literaturze. Kim i inni (2009), badając magnetyczne minerały zawarte w pyłe z poboczy dróg rozpoznali dwa rodzaje cząstek o nieregularnym kształcie emitowane przez poruszające się pojazdy: pierwszy rodzaj cząstek oprócz metalicznego żelaza zawierał: Al, Ca, K, Mg i Si, w skład drugiego typu cząstek wchodziły tlenki żelaza oraz C i S. Morfologia i skład chemiczny średnioziarnistej frakcji kurzu domowego może sugerować, że zawiera ona cząstki emitowane przez poruszające się pojazdy. Źródłem wydłużonych cząstek podobnych do „wiórków” może być tzw. nie-spalinowa emisja zanieczyszczeń, pochodzących z procesów ścierania klocków, tarcz i bębnow hamulcowych w pojazdach. Wydłużone cząstki o nieregularnym kształcie zawierające duże ilości Ba, które zaobserwowano w kurzu domowy z przedmieścia mogą mieć pochodzenie antropogeniczne. W pracach Mosleh i inni (2004) oraz Thorpe i Harrison (2008) pokazano, że obecność w PM cząstek zawierających bar i równocześnie żelazo z węglem wskazuje, że są one produktem ścierania się klocków hamulcowych w samochodach, których jednym ze składników jest ferryt baru ($BaFe_2O_4$)

Wyniki mojej pracy pokazały, że szczegółowe badania magnetycznych właściwości frakcji granulometrycznych kurzu domowego w połączeniu z obserwacjami SEM i analizą EDS pozwalają śledzić różnicę pomiędzy próbkami pobranymi z mieszkań, które są narażone na zanieczyszczenia emitowane z różnych zewnętrznych źródeł oraz identyfikować te źródła.

Rezultaty mojej pracy mogą także sugerować wyjaśnienie różnic jakie są obserwowane w składzie mineralnym frakcji magnetycznej kurzu domowego zawierającego magnetyt i metaliczne żelazo oraz pyłu PM w którym stwierdzono głównie magnetyt (Sagnotti i inni 2006, 2009, 1012, Petrovsky i inni. 2013, Górka-Kostrubiec i inni 2012). Poborniki pyłu PM akumulują na filtrach bardzo drobne frakcje pyłu o rozmiarze $10\mu m$ i mniejsze ($2.5\mu m$, $1\mu m$) natomiast kurz domowy pobierany za pomocą odkurzaczy zawiera cząstki o rozmiarze od $1mm$ do $10\mu m$ i mniejsze. W mojej pracy zaobserwowałam najwięcej wydłużonych cząstek zawierających metaliczne żelazo w frakcji średnioziarnistej $100-250\mu m$, których ich ilość malała wraz z rozdrobnieniem ziaren. Prawdopodobnie w tym przypadku różnice w rozmiarze cząstek zawartych w pyłe PM i w kurzu domowych są odpowiedzialne za różny skład mineralny frakcji magnetycznych.

Ad. [5].

W pracy Szczepaniak-Wnuk, I., Górka-Kostrubiec, B., (2016) badano zależność pomiędzy zewnętrznymi źródłami zanieczyszczeń a poziomem zanieczyszczenia powietrza wewnątrz budynków mieszkalnych. Ważnym celem pracy było sprawdzenie czy metody magnetyczne zastosowane do oceny zanieczyszczeń powietrza wewnątrz mieszkań mają bardziej ogólny charakter i można je stosować również w innych środowiskach miejskich.

Do badań wybrano miasto Żyrardów położone w odległości 50km na południowy - zachód od Warszawy. Wybór małego miasta pozwolił kontrolować zasięg oddziaływania lokalnych źródeł zanieczyszczeń oraz ograniczyć je do stosunkowo małych obszarów. Na terenie miasta wyodrębniono cztery obszary, w których dominującą rolę odgrywały cztery rodzaje emitorów zanieczyszczeń. W centrum miasta głównym źródłem zanieczyszczeń był ruch pojazdów samochodowych. W dwóch następnych obszarach dominowały zanieczyszczenia, których źródłem była niska emisja z miejskiej ciepłowni i silnie zanieczyszczona gleba na terenach przemysłowych. Ostatni, czwarty obszar badań obejmował mieszkania położone w budynkach na przedmieściach, gdzie źródłem zanieczyszczeń, oprócz niewielkiego ruchu pojazdów samochodowych była tzw. niska emisja, głównie z indywidualnych kotłowni domowych.

Realizacja celu badań polegała na poszukiwaniu różnic, jakie występują w właściwościach magnetycznych i składzie chemicznym pomiędzy próbkami kurzu z mieszkań położonych w czterech badanych obszarach miasta. Najwyższe wartości podatności magnetycznej stwierdzono dla próbek kurzu z mieszkań położonych w budynkach w centrum miasta, wzdłuż najbardziej ruchliwych ulic, najniższe dla próbek pobranych z mieszkań na przedmieściach. W kurzu z mieszkań z Żyrardowa podobnie jak w kurzu z Warszawy dominującym minerałem magnetycznym był magnetyt. Obecnie Pracownia Paleomagnetyzmu Instytutu Geofizyki PAN dysponuje termowagą magnetyczną (*Advanced Variable Field Translation Balance*, AVFTB, Peterseon Instrumens), która umożliwia wykonanie pomiarów namagnesowania w zakresie temperatur od 20°C do 800°C. Wykorzystując opisaną aparaturę wykonano pomiary zmian namagnesowania od temperatury $M(T)$ grzejąc próbki do 800°C. Dla kurzu z centrum miasta na krzywych grzania $M(T)$ zaobserwowano silny spadek odpowiadający temperaturze T_c dla magnetytu oraz drugie przejście fazowe w temperaturze Curie 760°C, która jest charakterystyczna dla metalicznego żelaza. Wąskie pętle histerezy magnetycznej ($H_c \sim 1,5-5\text{mT}$) oraz wzbogacenie magnetyczne, tj. wysokie wartości podatności magnetycznej i namagnesowania nasycenia potwierdziły obecność metalicznego żelaza w frakcji magnetycznej kurzu.

Szczegółowa analiza pokazała stosunkowo dobrą korelację parametrów magnetycznych χ i M_s z koncentracją takich pierwiastków jak: Fe, Zn, Ni, Cr, Cu, Mn i Co. Wymienione pierwiastki zaliczane są do grupy metali ciężkich, które uwalniane są w procesach związanych z poruszaniem się pojazdów samochodowych. Z badań Wahlin i inni (2006) wynika, że hamowanie samochodów generuje drobne cząstki zawierające m.in.: Cr, Fe, Cu, Zn, Zr, Mo, Sn, Sb, Ba i Pb, natomiast w procesie ścierania nawierzchni dróg i opon samochodowych generowane są stosunkowo grube cząstki zawierające znaczne ilości Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn i Sr.

Kurz z budynków położonych na terenach przemysłowych miał mono-mineralny skład frakcji magnetycznej, zawierał głównie magnetyt. W kurzu domowym z tego obszaru zaobserwowano najwyższe koncentracje następujących metali ciężkich: Zn, Ni, Cr, Co, Cd i Pb oraz najwyższą wartość indeksu PLI (około 21). Żyrardowska strefa przemysłowa była już w przeszłości bardzo szczegółowo badana ze względu na bardzo wysoki poziom zanieczyszczenia metalami ciężkimi powierzchniowej warstwy gleby. Parafiniuk i inni (2005) w swojej pracy pokazali, że na tych terenach koncentracja Cr, Cu, Zn, Pb i Co przewyższa kilka razy poziom tła geologicznego. W przeszłości źródłem metali ciężkich były przemysł włókienniczy i garbarski, który rozwijał się na tych terenach od ponad 100 lat. Obecnie, pomimo, że tereny przemysłowe zostały zrewitalizowane, to nadal zanieczyszczone cząstki gleby w sprzyjających warunkach meteorologicznych mogą przedostawać się do atmosfery a następnie do mieszkań np. poprzez system wentylacji.

Ponieważ dla obszaru zdominowanego przez zanieczyszczenia pochodzące z ciepłowni miejskiej pobrano tylko dwie próbki, stąd też nie można wyciągać ogólnych wniosków na temat wpływu tego rodzaju źródła zanieczyszczeń na jakość powietrza wewnątrz mieszkań. Obie próbki kurzu zawierały magnetyt z niewielkim wkładem metalicznego żelaza. Natomiast bardzo różniły się wartościami podatności magnetycznej oraz składem chemicznym: pierwsza zawierała wysokie koncentracje: Ni, Zn i Cu natomiast druga wysokie koncentracje Fe i Mn.

Właściwości magnetyczne kurzu z obszarów podmiejskich były zróżnicowane. Większość próbek zawierała głównie magnetyt, pozostała część oprócz magnetytu również metaliczne żelazo. Należy podkreślić, że parametry magnetyczne: χ i M_s dla kurzu z tego obszaru były niższe niż średnie wartości wyznaczone dla próbek z centrum.

Istotnym wnioskiem naszej pracy było pokazanie, że dla próbek kurzu z Żyrardowa, podobnie jak dla próbek z Warszawy, podatność magnetyczna i magnetyzacja nasycenia korelowały z indeksem PLI wyrażającym stężenie metali ciężkich. Próbki kurzu pobranego z mieszkań położonych na przedmieściach Żyrardowa, w pobliżu ciepłowni miejskiej i na terenach przemysłowych korelowały wzdłuż tej samej linii prostej, co próbki kurzu z mieszkań z Warszawy, które należały do pierwszej grupy. Druga korelacja opisywała próbki, które miały wysokie wartości podatności i pochodziły głównie z mieszkań położonych w centrum Żyrardowa. W tej grupie próbek zaobserwowano stosunkowo duże ilości metalicznego żelaza w frakcji magnetycznej.

Bardzo ważnym rezultatem tej pracy było potwierdzenie, że zastosowanie metody magnetycznej do oceny poziomu zanieczyszczenia powietrza wewnątrz mieszkań ma charakter bardziej ogólny i daje bardzo dobre wyniki w różnych środowiskach miejskich.

Ad. [6].

Motywacją do podjęcia badań opublikowanych w ostatniej pracy (Górka-Kostrubiec, B., Szczepaniak-Wnuk, I. (2016) była próba wyjaśnienia, w jaki sposób zmieniają się właściwości magnetyczne kurzu domowego, zawierającego mieszaninę magnetytu z metalicznym żelazem w stosunku do kurzu, którego frakcja magnetyczna zawiera głównie magnetyt. Do badań wybrano próbki kurzu z Warszawy należące do drugiej grupy oraz pobrane z mieszkań położonych w centrum Żyrardowa. Próbki cechowały się dużym wzbogaceniem magnetycznym wyrażonym wysokimi wartościami podatności magnetycznej ($\chi > 220 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) i namagnesowania nasycenia ($M_s = 160 - 1999 \cdot 10^{-3} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$) oraz wąskimi pętlami histerezy magnetycznej z parametrami odpowiednio: $M_{rs} = 16 - 54 \cdot 10^{-3} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$, $H_c = 3 - 5,5 \text{ mT}$ i $H_{cr} = 10 - 25 \text{ mT}$.

Pierwszy etap badań polegał na pomiarach zmian namagnesowania indukowanego w polu magnetycznym o indukcji 500mT w zakresie temperatur od 20°C do 800°C. Na krzywych grzania $M(T)$ zaobserwowano dwie temperatury Curie charakterystyczne dla magnetytu $T_c = 575^\circ\text{C}$ i dla żelaza $T_c \sim 765^\circ\text{C}$ oraz silny spadek namagnesowania pomiędzy 600°C - 750°C. Podczas chłodzenia widoczne były również dwie temperatury Curie dla obu minerałów, powyżej T_c dla magnetytu krzywa chłodzenia leżała poniżej krzywej grzania.

Silny spadek magnetyzacji w przedziale temperatur 600°C - 750°C, zinterpretowano, jako proces utlenienia metalicznego żelaza do magnetytu, przebiegający w sprzyjających warunkach termicznych i z łatwym dostępem do tlenu. W wysokich temperaturach część metalicznego żelaza ulega utlenieniu do magnetytu, w wyniku tego procesu

koncentracja w próbce rośnie. Ponieważ magnetyt ma niższe wartości M_s od żelaza to w rezultacie zachodzących procesów termicznych krzywa chłodzenia $M(T)$ leży poniżej krzywej grzania.

Z wcześniejszych moich badań wynika, że metaliczne żelazo w mieszaninie z magnetytem silnie wpływa na kształt i parametry pętli histerezy. Na tej podstawie można przypuszczać, że metaliczne żelazo będzie stosunkowo silnie zmieniać stosunki parametrów histerezy M_{rs}/M_s i H_{cr}/H_c , oraz ich rozkład na diagramie Daya-Dunlop'a. W celu weryfikacji tego przypuszczenia dla wybranych próbek zmierzono pętle histerezy przed grzaniem do 800°C i ponownie po cyklu grzanie-chłodzenie, podczas którego część metalicznego żelaza uległa utlenieniu do magnetytu. Na diagramie Daya-Dunlop'a próbki przed grzaniem zajmowały obszar charakteryzujący ziarna MD, po cyklu grzanie-chłodzenie ich położenia przesunęły się w stronę obszaru zajmowanego przez ziarna PSD-SD. Efekt ten zależał od ilości metalicznego żelaza obecnego w próbce przed grzaniem oraz od przebiegu procesu utleniania żelaza do magnetytu.

W celu śledzenia zmian, jakie zachodzą w mieszaninie magnetytu + Fe podczas cyklu grzanie-chłodzenie przeprowadzono separację magnetyczną, tzn. rozdzielono próbki kurzu na dwie frakcje. Pierwszą tzw. frakcję magnetyczną, która zawierała głównie metaliczne żelazo i magnetyt oraz drugą frakcję, która pozostała po separacji i zawierała głównie magnetyt oraz para- i dia-niemagnetyczne minerały. Szczegółową analizę zmian, jakie zachodzą na krzywych $M(T)$ podczas cyklu grzanie-chłodzenie, przeprowadzono oddzielnie dla każdej z frakcji. Zaobserwowano, że w próbkach kurzu podczas grzania do temperatury 800°C zachodzą dwa procesy. Pierwszy związany z tworzeniem się nowego magnetytu w wyniku utlenienia metalicznego żelaza, który głównie przebiega w frakcji magnetycznej. Drugi proces związany z tworzeniem się nowego magnetytu z niemagnetycznych minerałów w wyniku chemicznych przemian indukowanych termicznie. Proces ten zaobserwowano głównie w frakcji pozostałej po separacji cząstek magnetycznych.

Ważnym rezultatem pracy było wyjaśnienie, że silne wzbogacenie magnetyczne tj. wysokie wartości podatności magnetycznej i namagnesowania nasycenia obserwowane w drugiej grupie próbek, związane jest z obecnością w nich metaliczne żelazo. Z moich badań wynika, że metaliczne żelazo w mieszaninie z magnetytem silnie wpływa na kształt i parametry magnetyczne pętli histerezy oraz modyfikuje rozmieszczenie próbek na diagramie Daya-Dunlopa.

Możliwość interpretacji metalicznego żelaza, jako potencjalnego wskaźnika zanieczyszczeń generowanych przez poruszające się pojazdy powoduje, że ważna jest znajomość magnetycznych właściwości mieszaniny magnetytu + Fe.

Epidemiologiczne badania (Donaldson i inni 2003; MacNee i inni 2003) pokazują, że najdrobniejsze cząstki, bogate w żelazo odgrywają ważną rolę w rozwoju stanów zapalnych, a wchodząc w interakcję z składnikami komórkowymi powodują stres oksydacyjny w płynie wyściółki płuc i przyczyniają się do rozwoju wolnych rodników, które są jedną z głównych przyczyn chorób onkologicznych.

Literatura

- Bučko M.S., Magiera T., Pesonen L. J. and Janus B., 2009. Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes—Case study from Finland. *Water Air Soil Pollut.*, 209, 295-306.
- Castaneda-Miranda A.G., Böhnelt H.N., Molina-Garza R.S. and Chaparro M.A.E. 2014. Magnetic evaluation of TSP-filters for air quality monitoring. *Atmos. Environ.*, 96, 163-174.
- Chao Ch.Y.H., 2001. Comparison between indoor and outdoor air contaminant levels in residential buildings from passive sampler study. *Building and Environment*, 36, 999-1007.

- de Bruin BY, Koistinen K, Kephelopoulos S, Geiss O, Tirendi S, Kotzias D (2008) Characterisation of urban inhalation exposures to benzene, formaldehyde and acetaldehyde in the European Union: comparison of measured and modelled exposure data. *Environ Sci Pollut Res* 15: 417-30
- Donaldson K, Stone V (2003) Current hypotheses on the mechanisms of toxicity of ultrafine particles. *Ann Ist Super Sanità* 39: 405-410.
- Dunlop DJ (2002) Theory and application of the day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc): 1 Theoretical curves and tests using titanomagnetite data. *J Geophys Res* 107: 2056 doi:10.1029/2001JB000486
- Dunlop DJ (2002b) Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc): 2. Application to data for rocks, sediments, and soils. *J Geophys Res* 107(B3): 2057 doi:10.1029/2001JB000487.
- Dunlop D.J. and Özdemir Ö., *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers: Cambridge Studies in Magnetism*, Cambridge Univ. Press 1997.
- Evans M. E. and Heller F., 2003. *Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics*. Elsevier Science, Academic Press, San Diego (USA).
- Górka-Kostrubiec, B., E. Król, and M. Jeleńska (2012), Dependence of air pollution on meteorological conditions based on magnetic susceptibility measurements: a case study from Warsaw, *Stud. Geophys. Geod.* 56, 3, 861-877.
- Guo H., Morawska L., He C., Zhang Y., Ayoko G. and Cao M., 2010. Characterization of particle number concentrations and PM_{2.5} in a school: influence of outdoor air pollution on indoor air. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 17, 1268-1278.
- Halsall C.J., Maher B.A., Karloukovski V.V., Shah P. and Watkins, S.J., 2008. A novel approach to investigating indoor/outdoor pollution links: Combined magnetic and PAH measurements. *Atmos. Environ.*, 42, 8902-8909.
- He C., Morawska L., Hitchins J. and Gilbert D., 2004. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmos. Environ.*, 38, 3405–3415.
- Hjortenkrans DS.T., Bergbäck BG, Häggerud A.V 2007. Metal Emissions from Brake Linings and Tires: Case Studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005. *Environ. Sci. Technol.*, 41, pp 5224–5230.
- Hoffmann V., Knab M., Appel E. 1999 Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. *J. Geochem. Explor.*, 66, 313-326.
- Jeleńska M., Hasso-Agopsowicz A., Kadzialko-Hofmokl M., Kopcewicz B., Sukhorada A., Bondar K. and Matviishina Zh., 2008. Magnetic structure of the polluted soil profiles from eastern Ukraine, *Acta Geoph.*, 56, 1043-1064.
- Jordanova D., Jordanova N., Lanos Ph., Petrov P. and Tsacheva T., 2012. Magnetism of outdoor and indoor settled dust and its utilization as a tool for revealing the effect of elevated particulate air pollution on cardiovascular mortality. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q08Z49.
- Jordanova N., Jordanova D., Henry B., Goff M.L., Dimov D. and Tsacheva T., 2006. Magnetism of cigarette ashes. *J. Magn. Mater.*, 301, 50-66.
- Kim, W., S.J. Doh, and Y. Yu (2009), Anthropogenic contribution of magnetic particulates in urban roadside dust, *Atmos. Environ.* 43, 19, 3137-3144.
- King, J., Banerjee, S.K., Marvin, J., Özdemir, Ö., 1982. A comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural materials: some results from lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* 59, 404-419.
- Kingham S., Briggs D., Elliott P., Fischer P. and Lebret E., 2000. Spatial variations in the concentrations of traffic-related pollutants in indoor and outdoor air in Huddersfield, England. *Atmos. Environ.*, 34, 905-916.
- Kulmala M., Asmi A. and Petaja T., 1999. Indoor air aerosol model: the effect of outdoor air, filtration and ventilation on indoor concentrations. *Atmos. Environ.*, 33, 2133–2144.
- Langer S., Weschler C.J., Fischer A., Beko G., Toftum J. and Clausen G., 2010. Phthalate and PAH concentrations in dust collected from 500 Danish homes and 151 Danish day-care facilities. *Atmos. Environ.*, 44, 2294–2301.
- Layton D.W. and Beamer P.I., 2009. Migration of contaminated soil and airborne particulates to indoor dust. *Environ Sci. Technol.*, 43, 8199–8205.
- MacNee W, Donaldson K (2003) Mechanism of lung injury caused by PM₁₀ and ultrafine particles with special reference to COPD. *Eur Respir J* 21: 47–51
- Magiera T., Jabłońska M., Strzyszczyk Z. and Rachwał M., 2011. Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dust. *Atmos. Environ.*, 45, 4281-4290.
- Martuzevicius D., Grinshpun S.A., Lee T., Hu S., Biswas P., Reponene T. and Lemaster G., 2008. Traffic-related PM_{2.5} aerosol in residential houses located near major highways: indoor versus outdoor concentrations. *Atmos. Environ.*, 42, 6575–6585.
- Mitchell R., Maher B.A. and Kinnersley R., 2010. Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: Temporal and inter-species magnetic analyses. *Environ. Pollut.*, 158, 1472–1478.

- Monaci F., Moni F., Lanciotti E., Grechi D. and Bargagli R., 2000. Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead. *Environ. Pollut.*, 107, 321-327.
- Mosleh M, Blau P.J and Dumitrescu D., 2004. Characteristics and morphology of wear particles from laboratory testing of disk brake materials. *Wear*, 256, 1128-1134.
- Parafiniuk J., Bojakowska I. and Małecka K., 2005. Process of auto-purification of Pisia river-bed (Western Mazovia) based on changes of selected heavy metals contents. *Przegląd Geologiczny*, 53, 609-614.
- Petrovsky E., Zbořil R., Grygar T.M., Kotlík B., Novák J., Kapička A., Grison H. Magnetic particles in atmospheric particulate matter collected at sites with different level of air pollution. *Stud. Geophys. Geod.* 2013; 57: 755-770.
- Qiao Q., Zhang Ch., Huang B., and Piper J.D.A. 2011. Evaluating the environmental quality impact of the 2008 Beijing Olympic Games: magnetic monitoring of street dust in Beijing Olympic Park. *Geophys. J. Int.*, 187, 1222-1236.
- Sagnotti L., Macri P., Egli R. and Mondino M., 2006. Magnetic properties of atmospheric particulate matter from automatic air sampler stations in L'Anagnino (Italy): Toward a definition of magnetic fingerprints for natural and anthropogenic PM10 sources. *J. Geophys. Res.*, 111, B12S22.
- Sagnotti L., Taddeucci J., Winkler A., Cavallo A. Compositional, morphological, and hysteresis characterization of magnetic airborne particulate matter in Rome, Italy. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2009; 10: Q08Z06.
- Sagnotti L., Winkler A. On the magnetic characterization and quantification of the superparamagnetic fraction of traffic-related urban airborne PM in Rome, Italy. *Atmos. Environ.* 2012; 59: 131-140.
- Salo H., Bučko M.S., Vaahtovuori E., Limón J., Mäkinen J. and Pesonen L.J., 2012. Biomonitoring of air pollution in SW Finland by magnetic and chemical measurements of moss bags and lichens. *J. Geochem. Explor.*, 115, 69–81.
- See S.W. and Balasubramanian R., 2006. Physical characteristics of ultrafine particles emitted from different gas cooking methods. *Aerosol and Air Quality Res.*, 6, 82-92.
- Thompson R, Oldfield F (1986) *Environmental Magnetism*. Allen & Unwin, London
- Thorpe A, and Harrison R.M., 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. *Sci. Tot. Environ.*, 400, 270-282.
- Tomlinson D.C., Wilson J.G, Harris C.R. and Jeffrey D.W., 1980. Problems in assessment of heavy metals in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresunters*, 33, 566–575.
- Wahlin P, Berkowicz R, and Palmgren F., 2006. Characterisation of traffic-generated particulate matter in Copenhagen. *Atmos Environ.*, 40, 2151–2159.
- Wan M-P., Wu Ch-L., To G-N.S., Chan T-Ch. and Chao C.Y.H., 2011. Ultrafine particles, and PM2.5 generated from cooking in homes. *Atmos. Environ.*, 45, 6141–6148.
- Wang G., Oldfield F., Xia D., Chen F., Liu X. and Zhang W., 2012. Magnetic properties and correlation with heavy metals in urban street dust: A case study from the city of Lanzhou, China. *Atmos. Environ.*, 46, 289-298.
- WHO, 2012. World Health Organization. Indoor Air Pollution: National Burden of Disease Estimates, <http://www.who.int/indoorair/publications/nationalburden/en/index.html> (accessed 18.04.120).
- Yang Q., Chen H. and Li B., 2015. Source identification and health risk assessment of metals in indoor dust in the vicinity of phosphorus mining, Guizhou Province, China. *Arch Environ Contam Toxicol.*, 68, 20-30.
- Zhang Ch., Q., Appel E. and Huang B., 2012. Discriminating sources of anthropogenic heavy metals in urban street dusts using magnetic and chemical methods. *J. Geochemical Exploration*, 119–120, 60–75.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

Praca doktorska

Tematem mojej pracy doktorskiej była „*Kinetyka zaniku defektów strukturalnych i ich wpływ na przebieg odwracalnej przemiany martenzytycznej w stopach miedzi*”. Badałam stopy na osnowie miedzi wykazujące specyficzne właściwości i zjawiska tj.: pamięć kształtu (w ang. *shape memory effect*), pseudo- lub super-elastyczność oraz wysoką zdolność tłumienia drgań mechanicznych. Obecnie, materiały wykazujące pamięć kształtu są stosowane w różnych dziedzinach m.in. w technice, jako trwałe połączenia mechaniczne, elektryczne czujniki temperatury, układy regulacyjne w silnikach cieplnych oraz w medycynie, jako klamry do leczenia złamań kości, implanty, druty ortodontyczne, filtry skrzepów krwi.

W stopach miedzi pamięć kształtu związana jest z odwracalną przemianą martenzytyczną. Fazę martenzytyczną otrzymuje się w wyniku szybkiego hartowania stopów z wysokotemperaturowej fazy β lub szybkiego chłodzenia z fazy ciekłej w procesie ich produkcji. Negatywnym efektem tego typu obróbek jest wprowadzenie do stopu wysokiej koncentracji tzw. ponadrównowagowych (nadmiarowych / przechłodzonych) wakansów, które silnie wpływają na przebieg odwracalnej przemiany martenzytycznej i efekt pamięci kształtu. Bezpośrednio po hartowaniu, w pierwszym cyklu grzania obserwuje się wzrost temperatur początku i końca odwracanej przemiany martenzytycznej, zjawisko to nazywane jest tzw. stabilizacją martenzytu.

Stosując metody rezystometryczne, badałam mechanizmy odpowiedzialne za zjawisko stabilizacji martenzytu w zależności od zastosowanych obróbek cieplnych i mechanicznych oraz składu chemicznego stopu. Głównym wynikiem mojej pracy było wykazanie, że w stopach miedzi za niestabilności czasowe i temperaturowe właściwości fizycznych oraz zmiany temperatur charakterystycznych odwracalnej przemiany martenzytycznej odpowiadają procesy niskotemperaturowej dyfuzji, w których główną rolę odgrywa mechanizm migracji monowakansów i biwakansów. Wykazałam, że proces przyspieszonej dyfuzji przechłodzonych wakansów i ich klastrow powoduje kotwiczenie granic płytek martenzytu i/lub powierzchni rozdziału fazy martenzytycznej i macierzystej, co w konsekwencji utrudnia zajście przemiany martenzytycznej i wywołuje efekt stabilizacji martenzytu.

Trzy kolejne tematy przedstawione poniżej są kontynuacją badań rozpoczętych w pracy doktorskiej. Obejmują one następujące zagadnienia: (a) opracowanie modelu dyfuzji nadmiarowych wakansów w stopach Cu-Al-Zn i Cu-Al-Ni, (b) badanie zjawiska stabilizacji martenzytu metodą spektroskopii mechanicznej oraz (c) opis mechanizmu odpowiedzialnego za zjawisko stabilizacji martenzytu w stopach otrzymanych metodą szybkiego chłodzenia z fazy ciekłej.

Model dyfuzji monowakansów i biwakansów w stopach na bazie miedzi

Praca prezentuje teoretyczny opis kinetyki zaniku ponadrównowagowych wakansów w stopach miedzi na podstawie pomiarów krzywych izotermicznych i izochronicznych zmian elektrycznego oporu właściwego. Bazując na dostępnych w literaturze modelach opisujących procesy dyfuzji defektów punktowych pokazałam, że w stopach miedzi tworzenie i zanik nadmiarowych wakansów jest procesem złożonym i zależy od energii aktywacji tworzenia i zaniku wakansów

oraz od rodzaju dodatków stopowych. W stopach Cu-Al-Zn dyfuzja nadmiarowych wakansów została opisana dwoma procesami elementarnymi. Pierwszy proces był związany z tworzeniem i zanikiem biwakansów, natomiast drugi proces był związany z migracją monowakansów do miejsc ich zaniku. W stopach Cu-Al-Ni dyfuzja nadmiarowych wakansów została opisana jednym procesem elementarnym, który był związany z migracją monowakansów do miejsc ich zaniku. Różnice w kinetyce procesu zaniku nadmiarowych wakansów wyjaśniłam na podstawie modelu elektronowego Fukushimy-Doyamy. W stopach Cu-Al-Zn dodatki stopowe, tj. aluminium i cynk, powodują obniżenie energii tworzenia wakansów w stosunku do czystej miedzi. Niska energia tworzenia wakansów w tych stopach jest odpowiedzialna za wysoką koncentrację monowakansów i późniejszy proces tworzenia biwakansów, o stosunkowo krótkim czasie relaksacji. W stopach Cu-Al-Ni, nikiel jako dodatek stopowy powoduje wzrost energii tworzenia wakansów w stosunku do czystej miedzi. W konsekwencji, w tych stopach bezpośrednio po hartowaniu z wysokich temperatur, zaobserwowano tylko stosunkowo niską koncentrację monowakansów.

- Kostrubiec, B., Rasek, J., Salamon, A., Morawiec, H. 2002. *Analysis of structural defect annealing in copper-base alloys exhibiting the shape memory effect*. Journal of Materials Science, 37, pp. 369-373.

Zastosowanie spektroskopii mechanicznej do badania efektu stabilizacji martenzytu w stopach wykazujących pamięć kształtu

Celem pracy było wskazanie wpływu różnych typów obróbek cieplnych na stabilizację martenzytu w stopach na osnowie miedzi. Do badań zastosowano metodę spektroskopii mechanicznej tj. pomiary modułu sprężystości (w ang. *shear modulus of elasticity*) i tarcia wewnętrznego (w ang. *internal friction*) w funkcji temperatury. Spektroskopia mechaniczna pozwala śledzić przebieg przemiany martenzytycznej wykorzystując fakt, że struktury krystaliczne fazy martenzytycznej i fazy austenitycznej różnią się właściwościami mechanicznymi (sprężystymi). Badania pokazały, że zastosowanie stopniowego hartowania tj. z dodatkowym wygrzewaniem w temperaturze odpowiadającej aktywacji procesów migracji wakansów, powoduje odblokowanie przemiany martenzytycznej i kolejne cykle przemiany zachodzą bez widocznego procesu stabilizacji martenzytu.

- Kostrubiec, B., Rasek, J., Wisniewski, R., Morawiec, H., 2003. Mechanical spectroscopy in Cu-Al-Zn and Cu-Al-Ni alloys. Solid State Phenomena, 89, pp. 287-292.

Przemiana martenzytyczna i efekt stabilizacji martenzytu w stopach miedzi otrzymanych metodą szybkiego chłodzenia z fazy ciekłej

Stopy wykazujące pamięć kształtu obejmują także grupę materiałów w postaci cienkich taśm (w ang. *melt spun ribbons*), w których martenzyt otrzymuje się w procesie ich produkcji metodą szybkiego chłodzenia z fazy ciekłej (w ang. *melt spinning method*). W procesie produkcji metalicznych taśm, podobnie jak podczas hartowania stopów litych (w ang. *bulk alloy*), wprowadzane są do stopu duże ilości ponadrownowagowych wakansów, tj. takich, które nie są w równowadze termodynamicznej w niskich temperaturach. Silnie zdefektowana struktura stopu wpływa na czasowe i temperaturowe niestabilności właściwości fizycznych, tj.: opór elektryczny, sprężystość oraz przemiany fazowe. W efekcie bezpośrednio po produkcji stopy te nie są atrakcyjnym materiałem, który można zastosować w praktyce. Nasze badania pokazały, że odpowiednie obróbki termiczne, np. stopniowe hartowanie lub starzenie w odpowiednich

temperaturach wpływa na przyspieszenie dyfuzji wakansów do ich miejsc zaniku, co w konsekwencji prowadzi do odblokowania (uwolnienia) płytek martenzytu i ułatwia przebiegu kolejnych cykli przemiany martenzytycznej.

Głównym efektem naszych prac było pokazanie, że wielkość i struktura ziaren wpływają na temperatury charakterystyczne odwracalnej przemiany martenzytycznej oraz szerokość termicznej pętli histerezy. Droбноziarnista struktura metalicznych taśm powoduje, że temperatury początku i końca przemiany martenzytycznej zmieniają się w większym zakresie niż w stopach litych, których średnia wielkość ziaren jest o dwa rzędy większa. Cecha ta sprawiła, że stopy otrzymywane metodą melt-spinning mają szersze możliwości aplikacyjne niż stopy lite o tym samym składzie.

- Kostrubiec, B., Wiśniewski, R., Rasek, J., 2006. *Influence of point defects and grain size on the course of reversible martensite transformation in melt spun ribbons of the copper based alloys*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 16, pp. 30-34.
- Goryczka, T., Lelątko, J., Górka-Kostrubiec, B., Ochini, P., Morawiec H., 2008. *Martensitic transformation in melt-spun Ni-Mn-Ga ribbons*. The European Physical Journal ST, 158, pp. 131-136, DOI:10.1140/epjst/e2008-00665-3.

Badania właściwości stopów ferromagnetycznych wykazujących efekt pamięci kształtu prowadziłam w ramach dwóch projektów: „Dobór, wytwarzanie i kształtowanie struktury stopów z magnetyczną pamięcią kształtu na bazie faz Heuslera”, oraz Centrum Doskonałości – *Nowe materiały: ferromagnetyczne stopy wykazujące efekt pamięci kształtu*. W obu projektach byłam głównym wykonawcą badań właściwości magnetycznych stopów.

Przemiana martenzytyczna indukowana polem magnetycznym w ferromagnetycznych stopach wykazujących efekt pamięci kształtu

Przedmiotem badań były trójskładnikowe, międzymetaliczne stopy na bazie kobaltu i niklu wykazujące magnetoelastyczną przemianę martenzytyczną. W ferromagnetycznych stopach Co-Ni-Ga i Ni-Mn-Ga, przemiana martenzytyczna jest indukowana naprężeniem wywołanym przez zewnętrzne pole magnetyczne. Nasze badania pokazały, że dwa czynniki, tj. obróbka termiczna i wtrącenia dodatkowej fazy (γ -fazy), wpływają na właściwości mechaniczne i magnetyczne stopów oraz przebieg przemiany strukturalnej. Rozrost objętościowy γ -fazy znacząco polepsza właściwości wytrzymałościowe i plastyczne stopów oraz wpływa na temperatury charakterystyczne przemiany martenzytycznej. Zastosowanie obróbki termicznej, polegającej na wygrzewaniu stopu w temperaturze $T_a=1223K$ przez 40min., powoduje przesunięcie temperatury początku przemiany martenzytycznej o około 50K w stronę wyższych wartości i zwężenie termicznej pętli histerezy o około 10K. Drugim efektem wysokotemperaturowego wygrzewania jest wzrost temperatury Curie nawet o około 70K, co prowadzi do odseparowania przemiany martenzytycznej od przemiany magnetycznej, zwiększając możliwości aplikacyjne tych stopów. Ponadto pokazano, że dobór odpowiednich dodatków stopowych wpływa na wzrost koncentracji elektronowej i polepsza właściwości magnetyczne, m.in. rośnie magnetyzacja nasycenia.

Optymalne właściwości mechaniczne i magnetyczne oraz stosunkowo niskie temperatury charakterystyczne odwracalnej przemiany martenzytycznej sprawiają, że stopy na bazie kobaltu i niklu mają zastosowanie w praktyce,

jako doskonale i szybkie urządzenia uruchamiające (włączniki, przełączniki). Dodatkowym atutem tych stopów jest możliwość ich wykorzystania w urządzeniach pracujących w zakresie temperatur pokojowych.

- Kostrubiec, B., Prusik, K., Madej, Ł., Morawiec, H., 2007. *Martensitic transformation, structure and magnetic properties of Co-Ni-Ga ferromagnetic shape memory alloys*. Solid State Phenomena, 130, pp. 141-145.
- Prusik, K., Kostrubiec, B., Goryczka, T., Dercz, G., Ochin, P., Morawiec, H., 2008. *Effect of composition and heat treatment on the martensitic transformations in Co-Ni-Ga alloys*. Materials Science and Engineering A, 481-482, pp. 330-333, DOI:10.1016/j.msea.2007.01.187.
- Prusik, K., Morawiec, H., Kostrubiec, B., Prewendowski, M., Dercz, G., Ziewiec, K., 2008. *The effect of γ -phase particles on microstructure and properties of Co-Ni-Ga alloys*. The European Physical Journal ST 158, pp. 155-159, DOI:10.1140/epjst/e2008-00669-y.
- Morawiec, H., Prusik, K., Górka-Kostrubiec, B., Prewendowski, M., Goryczka, T., Lelątko, J., 2007. *Structure and mechanical properties of Co-Ni-Ga ferromagnetic shape memory alloys*. Inżynieria Materiałowa, 3-4, pp. 297-303.
- Morawiec, H., Gigła, M., Goryczka, T., Chrobak, D., Górka-Kostrubiec, B., Prusik, K., 2004. *Structure and properties of Ni_2MnGa ferromagnetic shape memory alloys*. Inżynieria Materiałowa, 140, 268-271.

W ramach mojej współpracy z dr inż. Sabiną Lesz z Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach powstał cykl publikacji naukowych na temat kinetyki procesu krystalizacji w wieloskładnikowych stopach amorficznych. Rezultaty tych badań zostały opublikowane w specjalistycznych czasopismach z dziedziny inżynierii materiałowej.

Poprawa właściwości magnetycznych i mechanicznych wieloskładnikowych stopów amorficznych.

Amorficzne stopy typu $TL_{1-x}M_x$ gdzie $TL=Fe, Co, Ni$ oraz $M=B, Si, C, N, P, Ge$, posiadają bardzo dobre właściwości materiałów magnetycznie miękkich, tj.: niską koercję, małe straty energii w procesie przemagnesowania i wysoką przenikalność magnetyczną. Szczególne właściwości tych stopów sprawiają, że są bardzo dobrym materiałem do zastosowania m.in w elektronice, jako magnetyczne głowice do odczytu danych, sensory magnetyczne, rdzenie w dużych transformatorach i elektronicznych urządzeniach. Celem prac było zbadanie właściwości magnetycznych stopów pod kątem ich praktycznego zastosowania, tj. w zależności od składu (odpowiedni dobór dodatków stopowych) oraz przebiegu procesu krystalizacji, tzn. kinetyki tworzenia fazy nanokrystalicznej w matrycy amorficznej. Stopy na bazie kobaltu swoje znakomite właściwości miękkich magnetycznie materiałów zawdzięczają budowie amorficznej. Fazę amorficzną uzyskuje się w procesie produkcji stopów, metodą szybkiego chłodzenia z fazy ciekłej lub poprzez odpowiedni dobór dodatków stopowych.

Negatywnym zjawiskiem prowadzącym do pogorszenia właściwości magnetycznych stopów o budowie amorficznej jest krystalizacja dodatków stopowych w matrycy amorficznej. W pracach kinetykę procesu krystalizacji analizowano na podstawie pomiarów zmian elektrycznego oporu właściwego i zmian podatności magnetycznej po stopniowym wygrzewaniu w zakresie temperatur od 773K do 837K. Wyniki naszych badań pokazały, że w stopach na osnowie kobaltu proces krystalizacji zachodzi ze stosunkowo wysoką efektywną energią aktywacji, co wskazuje na dużą stabilność termiczną fazy krystalicznej.

- Nowosielski, R., Zajdel, A., Lesz, S., Kostrubiec, B., Stokłosa Z., 2008. *Influence of heat treatment on changes on structure and magnetic properties of CoSiB alloy*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 27, pp. 147-150.
- Kwapuliński, P., Rasek, J., Stokłosa, Z., Badura, G., Kostrubiec, B., Haneczok G., 2008. *Magnetic and mechanical properties in FeXSiB (X=Cu, Zr, Co) amorphous alloys*. Archives of Materials Science and Engineering, 31, pp. 25-28.
- Lesz, S., Nowosielski, R., Zajdel, A., Kostrubiec, B., Stokłosa, Z., 2007. *Investigations of crystallization behaviour of Co₈₀Si₉B₁₁ amorphous ally*. Archives of Materials Science and Engineering, 28, pp. 91-98.
- Nowosielski, R., Zajdel, A., Lesz, S., Kostrubiec, B., Stokłosa, Z., 2007. *Crystallization of amorphous Co₇₇Si_{11.5}B_{11.5} alloy*. Archives of Materials Science and Engineering, 28, pp. 141-148.
- Lesz, S., Nowosielski, R., Zajdel, A., Kostrubiec, B., Stokłosa, Z., 2006. *Structure and magnetic properties of the amorphous Co₈₀Si₉B₁₁ alloy*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 18, pp. 155-158.
- Nowosielski, R., Zajdel, A., Lesz, S., Kostrubiec, B., Stokłosa, Z., 2006. *Crystallisation kinetics of an amorphous Co₇₇Si_{11.5}B_{11.5}*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 17, pp. 121-124.
- Lesz, S., Nowosielski, R., Kostrubiec, B., Stokłosa, Z., 2006. *Crystallisation kinetics and magnetic properties of a Co-based amorphous ally*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 16, pp. 35-39.

W Instytucie Geofizyki PAN prowadziłam badania, w których metody magnetyczne były stosowane do śledzenia naturalnych i antropogenicznych zmian w różnych środowiskach. W obszarze badań środowiskowych interesowały mnie dwa zagadnienia. Pierwsze związane było z zastosowaniem magnetometrii do poznania procesów pedogenicznych i magnetycznej struktury naturalnych profili glebowych. Drugie, obejmowało badania zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego i gleby w środowisku miejskim. Wyniki prac, których jestem współautorką, prezentowałam na międzynarodowych konferencjach, m.in.: *12th, 13th and 14th Castle Meeting - New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism* w latach 2010, 2012 i 2014 oraz *European Geosciences Union General Assembly* w latach 2014 i 2016.

Proces pedogenezy i magnetyczna struktura różnych typów gleb

W pracach zastosowano metody magnetyczne do analizy subtelnych różnic występujących pomiędzy profilami czarnoziemów, które powstały w zróżnicowanych warunkach klimatycznych, tj. w Środkowej Polsce i na Humutowskim stepie, Ukraina. Celem prac było zbadanie właściwości magnetycznych poszczególnych horyzontów genetycznych czarnoziemów oraz zmian w mineralogii magnetycznej i dystrybucji ziaren magnetycznych wzdłuż pionowych profili. Szczegółowa analiza magnetyczna pozwoliła określić różnice pomiędzy horyzontami genetycznymi oraz wyjaśnić mechanizm formowania gleby w zależności od warunków klimatycznych. Czarnoziem rozwinięty w warunkach stepowych charakteryzował się wzbogaceniem magnetycznym w górnych poziomach genetycznych oraz w skale macierzystej, którą były osady lessowe. Wzbogacenie magnetyczne skały macierzystej wskazywało na

intensywny proces pedogenezy, który prawdopodobnie zaszedł w lessie, tuż przed rozpoczęciem procesu formowania gleby.

W czarnoziemie, uformowanym na płacie lessowym w Środkowej Polsce, zaobserwowano stosunkowo niskie wartości podatności magnetycznej wzdłuż profilu i równocześnie duże zmiany podatności magnetycznej w stosunku do skały macierzystej. Nasze badania pokazały, że w przypadku tego czarnoziemiu, intensywny proces pedogenezy zachodzący w sprzyjających warunkach klimatycznych był gwałtownie zatrzymany przez ujemny bilans wodny.

- Górka-Kostrubiec, B., Teisseyre-Jelenska, M., Dytlow, S.K., 2016. *Magnetic properties as indicators of Chernozem soil development*. Catena, 138, pp. 91-102.
- Dytłow, S.K., Górka- Kostrubiec, B., 2012. *Determination of soil horizons using magnetometry*. Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2, pp. 145-153.
- Dytłow, S.K., Górka- Kostrubiec, B., 2014. *Magnetic parameters as an indicator of the processes occurring in the degraded Chernozem developed in loess from Miechow area*. Przegląd Naukowy, Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, Wydawnictwa SGGW, Warszawa, 23, pp170-184.

Zastosowanie magnetometrii do badania zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego w Warszawie

W pracach badano zmiany koncentracji magnetycznych cząstek pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym na podstawie pomiarów podatności magnetycznej zanieczyszczonych filtrów pobranych na stacji monitoringu powietrza w Warszawie w latach 1977, 1980, 1981 i 1985. Realizowane były dwa aspekty badań. Po pierwsze, badano wpływ sezonowych zmian warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. W tym celu poszukiwano korelacji pomiędzy wielkościami magnetycznymi, które są proporcjonalne od koncentracji cząstek magnetycznych, a parametrami meteorologicznymi, tj. temperaturą, ciśnieniem i wilgotnością powietrza atmosferycznego. Drugim aspektem badań było wskazanie tendencji zmian poziomu zanieczyszczenia powietrza w badanych latach.

Zmiany podatności magnetycznej pokazały dwa różne trendy zależne od sezonu. Dla zimnych miesięcy roku, podatność magnetyczna rosła liniowo wraz ze wzrostem średniej temperatury i bezwzględnej wilgotności powietrza. W ciepłych miesiącach roku, zależność była odwrotna dla obu analizowanych parametrów meteorologicznych. W sezonach przejściowych, tj. wczesną wiosną i późną jesienią, zaobserwowano krótko-czasowe (2-3 dni) ekstremalnie wysokie piki podatności magnetycznej. Zostały one zinterpretowane jako epizody związane z tworzeniem się quazi-smogu podczas meteorologicznych inwersji i/lub jako krótko-czasowa, dodatkowa emisja zanieczyszczeń z lokalnych emitorów.

Drugim ważnym rezultatem badań było stwierdzenie malejącego trendu średnich rocznych wartości podatności magnetycznej w latach 1977 - 1985. Wynik sugeruje, że zmiany, jakie zaszły w strukturze przemysłu na terenie Warszawy stosunkowo silnie wpłynęły na redukcję emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

- Górka-Kostrubiec, B., Król, E., Jeleńska, M., 2012. *Dependence of air pollution on meteorological conditions based on magnetic susceptibility: a case study from Warsaw*. Studia Geophysica et Geodatica, 56, p. 861-877.
- Górka-Kostrubiec B., Król, E., Jeleńska, M., 2013. *Magnetometry as a tool to evaluate the environmental pollution*. Prace i Studia Geograficzne, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, 51, 17-28.

Jedną z metod śledzenia zanieczyszczenia środowiska jest biomonitoring. W metodzie wykorzystuje się organizmy żywe: bio-wskaźniki roślinne, tj.: liście i korę drzew, mech, porosty itp., organizmy zwierzęce i mikroorganizmy, do jakościowej i ilościowej oceny stopnia zanieczyszczenia środowiska. Badania były realizowane w ramach mojej współpracy dr Ksenią Bondar z Instytutu Geologii Uniwersytetu im. Tarasa Szewczenki w Kijowie, Ukraina.

Badania zanieczyszczeń akumulowanych na liściach drzew w wybranych lokalizacjach w Warszawie i Kijowie.

W pracach zastosowano biomonitoring w połączeniu z metodami magnetycznymi do ilościowej oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w dwóch dużych aglomeracjach miejskich, tj. w Warszawie i Kijowie. Jako bio-wskaźnik roślinny wykorzystano liście z drzew kasztanowców, które są bardzo dobrym biomateriałem do akumulacji zanieczyszczeń, głównie na swojej powierzchni. Badania pokazały, że podatność magnetyczna liści pobranych jesienią (październik) była o około 80% wyższa do wartości wyznaczonych dla liści pobranych wiosną (maj). Zaobserwowano zależność pomiędzy parametrami magnetycznymi, a natężeniem ruchu pojazdów, tzn. największy wzrost podatności magnetycznej zanotowano dla liści pobranych z drzew rosnących przy dużych ruchliwych arteriach drogowych. Najniższe wartości χ odnotowano dla liści z drzew rosnących przy lokalnych i osiedlowych drogach dojazdowych oraz na terenach z bardzo ograniczonym ruchem pojazdów samochodowych. Wyniki otrzymane dla Warszawy porównano z próbkami liści kasztanowców pobranych w tych samych okresach na obszarze Kijowa.

Z naszych badań wynikają dwa ważne wnioski. Po pierwsze, liście drzew, jako pułapki zanieczyszczeń pozwalają śledzić krótko-czasowe i lokalne zmiany poziomu zanieczyszczenia powietrza. Po drugie, zastosowanie w badaniach magnetycznych naturalnego bio-wskaźnika jakim są liście z drzew tego samego gatunku, pozwala śledzić i porównywać poziom zanieczyszczenia powietrza w różnych środowiskach miejskich.

- Dytłow, S.K., Górka- Kostrubiec, B., 2013. *Magnetometry application to the analysis of air pollution accumulated on tree leaves*. Environmental Engineering IV – Pawłowski, Dudzińska & Pawłowski (ed) ©Taylor & Francis Group, London, pp. 317-323.
- Dytłow, S.K., Górka- Kostrubiec, B., 2013. *Application of magnetic methods in biomonitoring of environmental pollution*. Prace i Studia Geograficzne, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski 51, pp. 7-16.
- Dytłow, S.K., Górka- Kostrubiec, B., Bondar, K., 2013. *The use of measurements of magnetic susceptibility for monitoring of air pollution*. Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław vol. 3, p. 121-127.

Zanieczyszczenia akumulowane w glebach wzdłuż ruchliwych arterii komunikacyjnych

Zależność pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a ilościowym zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego w środowisku miejskim, skłoniła nas do podjęcia nowych badań mających na celu ocenę stopnia zanieczyszczenia gleby przy najbardziej ruchliwych drogach (około 116 tys. pojazdów na dobę) w Warszawie. Z pomiarów podatności magnetycznej wynika, że powierzchniowa warstwa gleby jest silnie wzbogacona w cząstki magnetyczne do około

150cm od brzegu jezdni. Ponadto, ilość magnetycznych cząstek systematycznie maleje z głębokością i osiąga stały poziom na głębokości około 20cm.

W badaniach nie stwierdzono prostej liniowej zależności pomiędzy podatnością magnetyczną, a natężeniem ruchu pojazdów, wynikało to z oddziaływania dodatkowych czynników, tj. skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, ukształtowanie terenu oraz obsadzenie poboczy dróg wysoką roślinnością np. krzewami i drzewami, które wpływały na ilość i sposób rozprzestrzeniania zanieczyszczeń.

- Górka – Kostrubiec, B., Król, E., Jeleńska, M. 2012. *Magnetic susceptibility as an indicator of traffic pollution in some Warsaw localities*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej seria „Inżynieria Środowiska”, 59, pp. 67-82.

Beata Górka – Kostrubiec

