PRZEGLĄD GEOFIZYCZNY

Rocznik LXV 2020 Zeszyt 3-4

Maria Magdalena SZUSZKIEWICZ, Adam ŁUKASIK, Marcin SZUSZKIEWICZ

INSTYTUT PODSTAW INŻYNIERII ŚRODOWISKA, POLSKIEJ AKADEMII NAUK

MAGNETYZM ŚRODOWISKOWY: WYKORZYSTANIE ZINTEGROWANYCH METOD GEOFIZYCZNYCH I GEOCHEMICZNYCH DO OCENY STOPNIA ANTROPOPRESJI NA OBSZARACH HISTORYCZNEJ DZIAŁALNOŚCI GÓRNICZEJ (KONURBACJA GÓRNOŚLĄSKA, POŁUDNIOWA POLSKA)

ENVIRONMENTAL MAGNETISM: APPLICATION OF INTEGRATED GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL TECHNIQUES TO ASSESS THE ANTHROPOPRESSURE DEGREE IN THE REGIONS OF HISTORICAL MINING ACTIVITY (UPPER SILESIAN CONURBATION, SOUTHERN POLAND)

Wstęp

Obszar konurbacji górnośląskiej, ze szczególnym uwzględnieniem komponentu środowiska jakim jest gleba, od wieków podlega silnej antropopresji. Do głównych źródeł zanieczyszczeń gleby w tym rejonie zaliczyć można: działalność górniczo-wydobywczą i przetwarzanie kruszców (np. Helios-Rybicka 1996; Cabała 2009; Maliszewska-Kordybach i in. 2009), depozycję zanieczyszczeń atmosferycznych pochodzących ze spalania paliw stałych zawierających m.in. metale ciężkie (np. Heller i in. 1998; Petrovský i in. 2000; Błońska i in. 2016; Zawadzki i in. 2016, Fabijańczyk i in. 2019), jak również lokalnie obecność artefaktów w poziomach powierzchniowych (Łukasik i in. 2015).

Podjęcie proponowanego problemu badawczego wynika z faktu, że na terenie miast Bytom i Tarnowskie Góry (obszar konurbacji górnośląskiej) zlokalizowane są nieczynne kopalnie odkrywkowe i podziemne dolomitu, które wykorzystywane były na potrzeby hutnictwa żelaza, rolnictwa i budowy dróg. Bezpośrednią przyczyną prężnie rozwijającego się historycznego przemysłu górniczego było pozyskanie surowca bogato występującego na tym terenie (Jędrzejczyk-Korycińska, Rostański 2015). Najważniejszym utworem geologicznym z punktu widzenia historycznej eksploatacji rud w tym rejonie jest środkowotriasowy dolomit kruszconośny, który charakteryzuje się występowaniem żyłek i niewielkich gniazd sfalerytu, galeny srebronośnej, markasytu oraz konkrecji limonitowych

 DOI: 10.32045/PG-2020-014

(Majgier i in. 2010). Dotychczas obszar badań nie był analizowany pod kątem historycznego przekształcenia oraz przyczyn zanieczyszczenia wpływających na jego obecny stan i formę, dlatego istotne jest podjęcie przedstawionej w pracy tematyki badawczej przy wykorzystaniu m.in. metod magnetycznych (w tym metod magnetometrii glebowej oraz gradiometrii magnetycznej).

Wiodącym parametrem fizycznym stosowanym w magnetometrii glebowej jest podatność magnetyczna. Wynika to z faktu, że pomiary tego parametru są szybką, skuteczną, niedrogą i nieinwazyjną metodą do wstępnej oceny ewentualnego zanieczyszczenia gleb potencjalnie toksycznymi pierwiastkami (ang. *Potentially Toxic Elements – PTEs*). Badania dotyczące podwyższonej podatności magnetycznej gleb w wyniku antropopresji prowadzone są od wielu lat na całym świecie (np. Chaparro i in. 2007; Rosowiecka, Nawrocki 2010; Lu i in. 2016; Wojas 2017; Gonet i in. 2018; Magiera i in. 2019; Pierwoła i in. 2020). Cechą charakterystyczną antropogenicznych minerałów magnetycznych zawierających w swoim składzie żelazo jest ich współwystępowanie z PTEs (Hulett i in. 1980). Na skutek emisji przemysłowych pyły i popioły lotne zawierające technogeniczne cząstki magnetyczne (ang. *Technogenic Magnetic Particles – TMPs*, Magiera i in. 2011) dostają się do atmosfery, a następnie są deponowane i akumulowane w górnych poziomach gleby.

Z kolei zastosowanie magnetycznej metody gradiometrycznej pozwoliło na zlokalizowanie płytko zalegających (0,5-1,0 m) śladów działalności historycznej takich jak: warpie, szybiki, chodniki, dawne nasypy torowisk kolejek kopalnianych, wybierki czy niewielkie zapadliska, które powstały w wyniku eksploatacji, jak również i procesów mających na celu przetworzenie oraz bezpośrednie pozyskanie kruszców. Metoda ta z powodzeniem stosowana jest na świecie w prospekcji archeologicznej mającej na celu na przykład: zidentyfikowanie pozostałości po historycznych fundamentach (Misiewicz i Małkowski, 2009) lub zabudowie nieistniejących już miast (Wynne-Jones 2012), pozostałości po przebiegu historycznych bitew (Masters, Stichelbaut 2009), czy potwierdzenie geodezji historycznych miast rzymskich (Vermeulen i in. 2012).

Stawianą w pracy hipotezą badawczą jest stwierdzenie, że w rejonach będących pod silnym wpływem antropopresji, zarówno w wyniku wielowiekowej, historycznej działalności górniczej (eksploatacji rud metali), jak i wysokich poziomów emisji przemysłowo-miejskich pyłów i popiołów lotnych zawierających antropogeniczne cząstki magnetyczne, dochodzi do zanieczyszczenia oraz translokacji powierzchniowych poziomów glebowych. Towarzyszące PTEs antropogeniczne minerały żelaza wpływają na wzrost podatności magnetycznej gleby i gradientu składowej pionowej pola magnetycznego. Możliwość detekcji cząstek magnetycznych w powierzchniowych, jak i podpowierzchniowych poziomach glebowych, pozwala na zbadanie zjawisk odpowiedzialnych za występowanie anomalii podatności magnetycznej i anomalii gradientu składowej pionowej pola magnetycznego. W szczególności działania takie są predysponowane na terenach, gdzie ślady dawnej działalności wydobywczej zostały zatarte w wyniku przekształceń mechanicznych powierzchniowych poziomów gleby.

Obszar badań i metody

Park miejski w Tarnowskich Górach (obszar badań TG) i rezerwat przyrody Segiet w Bytomiu (obszar badań B) należą do terenów od wieków związanych z działalnością górniczą, zarówno rud srebronośnych, jak również rud żelaza, ołowiu i cynku. Obszar badań (TG i B) charakteryzuje się częściowo widocznymi pozostałościami po historycznej odkrywkowej i podziemnej eksploatacji rud metali. Do dziś na powierzchni widoczne są warpie (kilkumetrowe mikrohałdy powstałe z wybieranych odpadów poeksploatacyjnych), wybierki (niewielkie wyrobiska poeksploatacyjne) i zapadliska (niecki powstałe w wyniku zapadłych szybików), czy też nasypy torowisk kolejek kopalnianych do wywozu urobku.

Obecna forma i charakter obszarów badań są efektem rewitalizacji oraz przestrzennego zagospodarowania turystyczno-rekreacyjnego i postępującej sukcesji naturalnej. W konsekwencji ślady historycznej działalności wydobywczej (górniczej) zostały zatarte poprzez liczne przekształcenia mechaniczne powierzchniowych poziomów glebowych, służące niwelacji terenu i jego zagospodarowaniu w ściśle określonym kierunku (leśnym bądź parkowym).

Magnetometria glebowa bazuje na pomiarach podatności magnetycznej, czyli wielkości fizycznej określającej właściwości magnetyczne gleb i opisanej jako zdolność danej substancji (materiału, obiektu lub ośrodka) do namagnesowania w obecności zewnętrznego pola magnetycznego. W badaniach środowiskowych wykorzystywana jest zarówno objętościowa (κ), jak również masowa (χ) podatność magnetyczna (Thompson, Oldfield 1986). Pomiary podatności magnetycznej prowadzone były przy wykorzystaniu miernika firmy Bartington MS2 (Bartington Instruments Ltd.) w połączeniu z różnego typu czujnikami (w zależności od przeznaczenia):

- czujnik MS2D (o zasięgu penetracji nieprzekraczającym 10 cm) przeznaczony do powierzchniowych pomiarów *in situ* podatności magnetycznej (κ);
- czujnik MS2C wykorzystywany do laboratoryjnych pomiarów podatności magnetycznej (κ) na rdzeniach glebowych;
- czujnik MS2B (umożliwiający wykonywanie pomiarów w dwóch częstotliwościach) wykorzystywany do laboratoryjnych pomiarów podatności magnetycznej (κ) odpowiednio przygotowanych próbek gleb.

Wykonanie prospekcji geomagnetycznej, czyli pomiarów gradientu (składowej pionowej) pola magnetycznego, zostało wykonane przy pomocy urządzenia (gradiometru) Grad 601-02 (Bartington Instruments Ltd.) wyposażonego w dwa układy pomiarowe (każdy składający się z dwóch czujników usytuowanych jeden nad drugim, w odległości 1 m). Aparatura ta umożliwia wychwycenie anomalii wywołanych przez źródła znajdujące się w głębszych (podpowierzchniowych) poziomach glebowych, nawet do kilku metrów w głąb badanego obszaru (Bartington, Chapman 2004). Pomiary gradiometrem były prowadzone na wyznaczonych poletkach o wymiarach 10 m × 10 m (wysoka dokładność pomiarowa).

W celu dokładnej lokalizacji miejsc pomiarów i miejsc opróbowania zastosowano urządzenie GPS firmy Garmin. Umożliwiło to wykonanie map powierzchniowego rozkładu podatności magnetycznej gleb oraz map rozkładu gradientu składowej pionowej pola magnetycznego. Dodatkowo na mapach zaznaczono i opisano miejsca opróbowania (rys. 1, 3). Mapy sporządzono przy wykorzystaniu programu Surfer 8 (Golden Software, LLC).

W dalszym etapie wykonano pomiary podatności magnetycznej próbek gleb w dwóch częstotliwościach (niskiej – 465 Hz i wysokiej – 4650 Hz), co umożliwiło obliczenie, wyrażanej w procentach, częstotliwościowej zależności podatności magnetycznej (χ_{fd}, Dearing 1996). Częstotliwościowa zależność podatności magnetycznej jest jednym ze wskaźników magnetometrii glebowej, wykorzystywanym do określenia pochodzenia (naturalnego, antropogenicznego) cząstek magnetycznych obecnych w materiale badawczym.

W widocznych na mapach miejscach występowania anomalii podatności magnetycznej oraz anomalii gradientu składowej pionowej pola magnetycznego pobrano 32 rdzenie glebowe o miąższości 30 cm i średnicy 3,5 cm. Opróbowanie wykonano przy użyciu sondy glebowej HUMAX firmy Baumann Saatzuchtbedarf. Na każdym z obszarów pobrano szesnaście rdzeni, po dwa w każdym miejscu opróbowania. Pozwoliło to na określenie pionowego rozkładu podatności magnetycznej z rozdzielczością pomiaru 1 cm. Wydzielone z pobranych rdzeni próbki glebowe charakteryzujące się najwyższą podatnością magnetyczną κ (wartość szczytowa – „pik") zostały poddane analizom geochemicznym w celu określenia zawartości wybranych PTEs (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn), Fe i Mn. Analizy przeprowadzono metodą spektrometrii mas z jonizacją w plazmie indukcyjnie sprzężonej na spektrometrze ICP OES 6100 DRC-e firmy PerkinElmer (PerkinElmer Inc.), po uprzedniej ekstrakcji próbek w wodzie królewskiej (ISO 11466, 2002).

W celu określenia stopnia zmian antropogenicznych występujących w powierzchniowych poziomach gleb (do głębokości 30 cm) zastosowany został współczynnik przekształcenia (ang. *Topsoil Transformation Factor* – TTF), wyrażany stosunkiem rdzeni z obecnością artefaktów bądź przekształceń mechanicznych do całkowitej liczby pobranych rdzeni w badanym obszarze (Łukasik i in. 2015).

Natomiast w celu określenia zależności pomiędzy cząstkami magnetycznymi i analizowanymi pierwiastkami, została przeprowadzona analiza głównych składowych (ang. *Principal Component Analysis* – PCA) przy wykorzystaniu oprogramowania Statistica 12 (StatSoft Inc.).

Wyniki

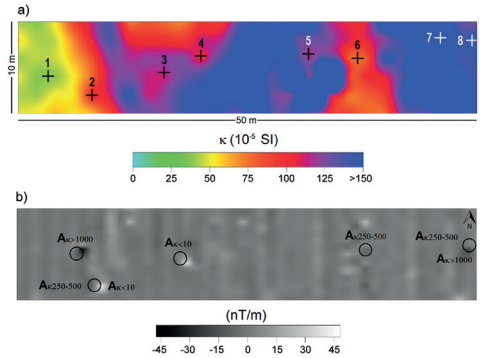
Przeprowadzone pomiary podatności magnetycznej gleb (rys. 1a i 3a) oraz pomiary gradiometryczne (rys. 1b i 3b), umożliwiły lokalizację miejsc występowania największych obszarowo i najlepiej widocznych na mapach anomalii, a pośrednio wytypowanie tych miejsc, na których mogło nastąpić znaczące przekształcenie terenu.

Tabela 1. Masowa podatność magnetyczna (χ), częstotliwościowa zależność masowej podatności magnetycznej (χ_{fd}) oraz zawartości wybranych potencjalnie toksycznych pierwiastków (PTEs), Fe i Mn dla próbek glebowych pochodzących z obszarów badań: parku miejskiego w Tarnowskich Górach (TG) oraz rezerwatu przyrody Segiet w Bytomiu (B)

Table 1. Mass magnetic susceptibility (χ), frequency-dependent magnetic susceptibility (χ_{fd}) and content of selected Potentially Toxic Elements (PTEs), Fe and Mn of soil samples from the urban park in the Tarnowskie Góry (site TG) and the nature reserve Segiet in Bytom (site B)

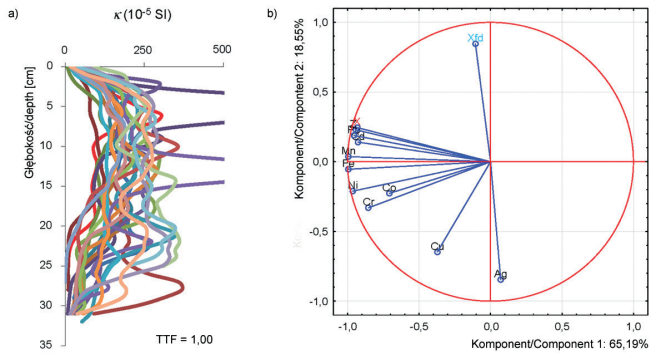
Miejsce Site	Nr próbki Sample no.	χ	χ_{fd}	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
		($m^3 \cdot kg^{-1}$)	(%)	$mg \cdot kg^{-1}$									
TG	1	22	5	25	2	19	24	42	11213	738	9	378	276
	2	137	2	26	12	19	45	61	30142	1896	25	1178	1530
	3	181	2	25	36	19	52	91	44234	2692	35	2067	4433
	4	96	3	26	6	19	33	55	23290	1422	22	838	885
	5	191	1	26	16	19	41	169	37354	2169	31	1616	2561
	6	62	3	25	9	19	37	24	29107	1948	19	1298	1555
	7	2220	4	25	67	22	60	97	99767	7535	64	7078	16992
	8	908	3	26	32	29	80	88	88639	6041	70	3418	6965
B	9	80	7	25	33	20	74	46	111374	8466	53	10582	6388
	10	208	2	26	37	20	83	69	113832	12130	79	3899	5189
	11	125	6	25	17	19	54	47	71843	5837	40	3871	3059
	12	39	8	26	4	19	25	17	15808	1142	14	779	603
	13	202	1	25	37	21	87	70	123886	13022	82	4067	5423
	14	134	7	26	18	19	60	41	65625	5371	42	4417	3321
	15	89	7	26	29	19	67	46	93649	7291	47	9022	5412
	16	107	1	25	16	19	60	45	55309	4553	39	3394	2740

W badaniach potwierdzono, że obszary TG i B będące pod wpływem silnej antropopresji (od wieków związane z historyczną działalnością górniczą) należą także do terenów o wysokim poziomie depozycji pyłowych, a gleby na tych obszarach są zanieczyszczone przez PTEs, Fe i Mn. Ponadto w przypadku historycznej działalności górniczej dochodzi także do translokacji powierzchniowych poziomów glebowych i stwierdzana jest obecność artefaktów w glebie. Wśród artefaktów zgromadzonych na obszarze badań TG (w rdzeniach i w pobliżu miejsc opróbowania) wyodrębnić można przedmioty charakteryzujące się wysokimi wartościami podatności magnetycznej ($\kappa > 1000 \times 10^{-5}$ SI), np. niewielkich rozmiarów fragmenty metalowe (miejsce opróbowania nr 1 i 8, rys. 1): śruby, gwoździe, nakrętki, pręty, jak również żużel. Średnimi wartościami podatności magnetycznej (250×10^{-5} SI $< \kappa < 500 \times 10^{-5}$ SI) cechują się fragmenty materiałów budowlanych (miejsce opróbowania nr 2, 6 i 8, rys. 1), takie jak: cegła, beton, etc. Natomiast, niską podatność magnetyczną ($\kappa < 10 \times 10^{-5}$ SI) posiadają elementy ceramiczne, szklane czy aluminiowe (miejsce opróbowania nr 2 i 3, rys. 1). Z kolei obszar B zdominowany jest przez jeden rodzaj artefaktów, a mianowicie: węgiel drzewny (rdzeń nr 9, 11, 12, 14 i 15, rys. 3), którego obecność zaznaczona jest licznymi „pikami" na pionowych rozkładach wartości κ na głębokości poniżej 10 cm (rys. 4a).



Rys. 1. Mapy rozkładu wartości: objętościowej podatności magnetycznej (κ) na powierzchni gleby (a); gradientu składowej pionowej pola magnetycznego (b) pomierzonych na obszarze badań (o powierzchni 500 m^2, 10 m × 50 m) zlokalizowanym w parku miejskim w Tarnowskich Górach (obszar TG); objaśnienia: + – miejsce poboru rdzeni (wraz z numerem miejsca opróbowania), w których zostały określone zawartości (w mg·kg^{-1}) wybranych potencjalnie toksycznych pierwiastków (PTEs), Fe i Mn, O – lokalizacja artefaktów ($A_{\kappa<10}$: artefakty o wartościach $\kappa < 10\times10^{-5}$ SI, $A_{\kappa250-500}$: artefakty o wartościach κ od 250 do 500×10^{-5} SI, $A_{\kappa>1000}$: artefakty o wartościach $\kappa > 1000\times10^{-5}$ SI)

Fig. 1. Distribution maps of: volume magnetic susceptibility (κ) value on topsoil (a); gradient of the vertical magnetic *fi*eld component (b) measured on the urban park in Tarnowskie Góry (site TG); the study area of 500 m^2 (10 m × 50 m), + – location of soil core (with point number) collected to determine the content (in mg·kg^{-1}) of selected Potentially Toxic Elements (PTEs), Fe and Mn, O – location of artefacts ($A_{\kappa<10}$: artefacts with $\kappa < 10\times10^{-5}$ SI, $A_{\kappa250-500}$: artefacts with κ from 250 to 500^{-5} SI, $A_{\kappa>1000}$: artefacts with $\kappa > 1000\times10^{-5}$ SI)

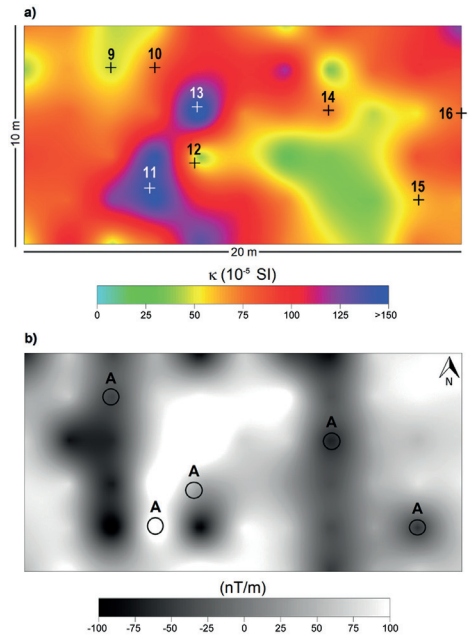


Rys. 2. Rozkład pionowy wartości objętościowej podatności magnetycznej (κ) w rdzeniach glebowych pobranych w parku miejskim w Tarnowskich Górach – obszar TG (a); oraz analiza głównych składowych (PCA) dla próbek glebowych pobranych z obszaru TG (b); objaśnienia: TTF – współczynnik przekształcenia, χ – masowa podatność magnetyczna (w m^3·kg^{-1}), χ_{fd} – częstotliwościowa zależność podatności magnetycznej (w %)

Fig. 2. Vertical distribution of the volume magnetic susceptibility (κ) value measured in soil cores collected from the urban park in the Tarnowskie Góry – site TG (a); Principal Component Analysis (PCA) for soil samples collected at site TG (b); TTF – Topsoil Transformation Factor, χ – mass magnetic susceptibility (in m^3·kg^{-1}), χ_{fd} – frequency-dependent magnetic susceptibility (in %)

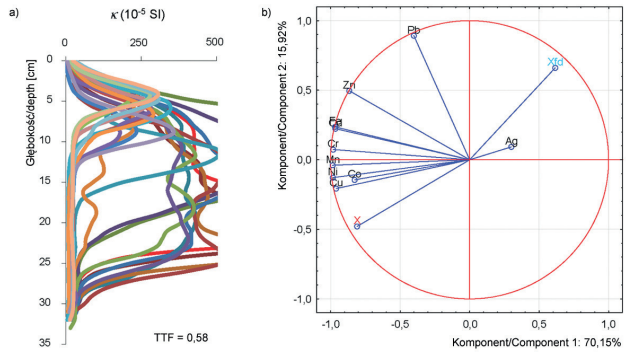
Określony stopień zmian antropogenicznych badanych gleb (obszarów TG i B) poprzez zastosowanie parametru TTF jednoznacznie wskazał na bardzo silny stopień transformacji powierzchniowych poziomów glebowych (rys. 2a i 4a) charakteryzujący się dominacją wielopikowych krzywych na pionowych rozkładach podatności magnetycznej. Stopień transformacji jest szczególnie silny w przypadku obszaru badań TG, gdzie TTF = 1,0 (rys. 2a).

W przypadku obszaru TG, wartości χ_{fd} w próbkach glebowych nie przekraczają 4% (tab. 1), wskazując tym samym na antropogeniczne źródło cząstek magnetycznych. Natomiast w przypadku obszaru B wartości χ_{fd} dla próbek glebowych mieszczą się w przedziale od 1 do 8% (tab. 1). Wartość tego parametru powyżej 5% wskazuje na możliwą obecność w próbce ziaren superparamagnetycznych (np. pedogenicznych minerałów magnetycznych żelaza) (Dearing 1996). Jednakże, zaskakującym rezultatem tych badań



Rys. 3. Mapy rozkładu wartości: objętościowej podatności magnetycznej (κ) na powierzchni gleby (a); gradientu składowej pionowej pola magnetycznego (b) pomierzonych na obszarze badań (o powierzchni 200 m^2, 10 m × 20 m) zlokalizowanym w obrębie rezerwatu przyrody Segiet w Bytomiu (obszar B); objaśnienia: + – miejsce poboru rdzeni (wraz z numerem miejsca opróbowania), w których zostały określone zawartości (w mg·kg^{-1}) wybranych potencjalnie toksycznych pierwiastków (PTEs), Fe i Mn, O – lokalizacja artefaktów (A – węgle drzewne)

Fig. 3. Distribution maps of: volume magnetic susceptibility (κ) value on topsoil (a); gradient of the vertical magnetic field component (b) measured on the nature reserve Segiet in Bytom (site B); the study area of 200 m^2 (10 m × 20 m); + – location of soil core (with point number) collected to determine the content (w mg·kg^{-1}) of selected Potentially Toxic Elements (PTEs), Fe and Mn, O – location of artefacts (A – charcoal particles)



Rys. 4. Rozkład pionowy wartości objętościowej podatności magnetycznej (κ) w rdzeniach glebowych pobranych w obrębie rezerwatu przyrody Segiet w Bytomiu – obszar B (a); oraz analiza głównych składowych (PCA) dla próbek glebowych pobranych z obszaru B (b); objaśnienia: TTF – współczynnik przekształcenia, χ – masowa podatność magnetyczna (w $m^3 \cdot kg^{-1}$), χ_{fd} – częstotliwościowa zależność podatności magnetycznej (w %)

Fig. 4. Vertical distribution of the volume magnetic susceptibility (κ) value measured in soil cores collected from the nature reserve Segiet in Bytom – site B (a); Principal Component Analysis (PCA) for soil samples collected at site B (b); TTF – Topsoil Transformation Factor, χ – mass magnetic susceptibility (in $m^3 \cdot kg^{-1}$), χ_{fd} – frequency-dependent magnetic susceptibility (in %)

jest fakt, że $\chi_{fd} > 5\%$ związana była z próbkami gleby, w których stwierdzono obecność węgli drzewnych.

Współzależności pomiędzy rozpatrywanymi PTEs, Fe i Mn (tab. 1) i antropogenicznymi cząstkami magnetycznymi (wyrażonymi przez masową podatność magnetyczną χ, tab. 1), zostały określone przez zastosowanie PCA (rys. 2b i 4b). Dla próbek glebowych pochodzących z obszaru TG, komponenty 1 i 2 tłumaczą kolejno 65,19% i 18,55% zmienności rozpatrywanych właściwości (rys. 2b). Bardzo wysokie zależności obserwowane są pomiędzy χ i Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb oraz Zn. Natomiast dla próbek glebowych pochodzących z obszaru B komponenty 1 i 2 tłumaczą kolejno 70,15% i 15,92% zmienności analizowanych właściwości (rys. 4b). Wysokie zależności obserwowane są pomiędzy χ i Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni oraz Zn, słabsze zaś, ale wciąż znaczące, między χ i zawartością Pb w glebie. Ponadto, wartość χ wykazuje odwrotną korelację z χ_{fd} oraz koncentracją Ag.

Podsumowanie i wnioski

Wieloletnia, historyczna działalność górnicza prowadzona w rejonie badań (park miejski w Tarnowskich Górach oraz rezerwat przyrody Segiet w Bytomiu) skutkuje przede wszystkim obecnością w glebie rozmaitych artefaktów i antropogenicznych cząstek magnetycznych.

Zastosowanie uzupełniających się metod pomiarowych magnetometrii glebowej i gradiometrii magnetycznej, wspartych przez analizy geochemiczne, jest wiarygodnym

narzędziem pozwalającym na pełniejsze poznanie i interpretację anomalii. Badania jednoznacznie wykazały, że pionowy rozkład wartości podatności magnetycznej w rdzeniach glebowych ujęty poprzez zastosowanie parametru TTF jest obiecującym narzędziem środowiskowym przy określaniu pochodzenia „sygnału" magnetycznego w powierzchniowych poziomach gleby oraz może być wykorzystany do ewaluacji przekształceń antropogenicznych badanych obszarów i im podobnych.

Anomalie, zarówno podatności magnetycznej, jak i gradientu składowej pionowej pola magnetycznego, występujące w glebach badanych obszarów (TG i B) są efektem współwystępowania artefaktów i TMPs. Przy czym, w oparciu o wyliczone wartości parametru TTF, należy podkreślić, że dominującym źródłem tych anomalii są artefakty i przekształcenia terenu związane z historyczną eksploatacją występujących na badanych obszarach rud metali (Ag, Fe, Zn czy Pb).

Do najczęściej występujących, na obszarze badań artefaktów zaliczyć można: śruby, gwoździe, nakrętki, pręty, żużel, cegły oraz węgiel drzewny.

Ponadto, z punktu widzenia badań podstawowych, interesujące są wyniki pomiarów częstotliwościowej zależności podatności magnetycznej (powyżej 5%), które związane były z próbkami gleby, w których stwierdzono obecność węgli drzewnych, co wymaga dogłębnego przeanalizowania i dodatkowych specjalistycznych pomiarów magnetycznych.

Podziękowania

Prezentowane wyniki badań są częścią autorskiego projektu pt. „Wykorzystanie zintegrowanych metod geofizyczno-geochemicznych do oceny stopnia antropopresji na terenach parkowo-leśnych zlokalizowanych na obszarach historycznej działalności górniczej" w ramach dotacji służącej rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich finansowanej przez Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska, Polskiej Akademii Nauk.

L i t e r a t u r a

Bartington G., Chapman C.E., 2004, A high-stability fluxgate magnetic gradiometer for shallow geophysical survey applications, Archaeological Prospection, 11 (1),1 9-34, DOI: 10.1002/arp.219

Błońska E., Lasota J., Szuszkiewicz M., Łukasik A., Klamerus-Iwan A., 2016, Assessment of forest soil contamination in Krakow surroundings in relation to the type of stand, Environmental Earth Sciences, 75, 1205, DOI: 10.1007/s12665-016-6005-7

Cabała J., 2009, Metale ciężkie w środowisku glebowym olkuskiego rejonu eksploatacji rud Zn-Pb, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 130 s.

Chaparro M.A.E., Nuñez H., Lirio J.M., Gogorza C.S.G., Sinito A.M., 2007, Magnetic screening and heavy metal pollution studies in soils from Marambio Station, Antarctica, Antarctic Science, 19 (3), 379-393, DOI: 10.1017/S0954102007000454

Dearing J.A., Hay K., Baban S., Huddleston A., Wellington E., Loveland P., 1996, Magnetic susceptibility of soils: a test of conflicting theories using a national database, Geophysical Journal International, 127, 728-734

Fabijańczyk P., Zawadzki J., Magiera T., 2019, Towards magnetometric characterization of soil pollution with rare-earth elements in industrial areas of Upper Silesian Industrial Area, Southern Poland, Environmental Earth Sciences, 78 (12), 352

Gonet T., Górka-Kostrubiec B., Łuczak-Wilamowska B., 2018, Assessment of topsoil contamination near the Stanisław Siedlecki Polish Polar Station in Hornsund, Svalbard, using magnetic methods, Polar Science, 15, 75-86, DOI: 10.1016/j.polar.2017.12.006

Helios-Rybicka E., 1996, Impact of mining and metallurgical industries on the environment in Poland, Applied Geochemistry, 11 (1-2), 3-9, DOI: 10.1016/0883-2927(95)00083-6

Heller F., Strzyszcz Z., Magiera T., 1998, Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland, Journal of Geophysical Research. Solid Earth, 103 (B8), 17767-17774, DOI: 10.1029/98JB01667

Hulett L.D., Weinberger A.J., Northcutt K.J., Ferguson M., 1980, Chemical species in fly ash from coal-burning power plant, Science, 210 (4476), 1356-1358, DOI: 10.1126/science.210.4476.1356

ISO 11466:2002, Jakość gleby – Ekstrakcja pierwiastków śladowych rozpuszczalnych w wodzie królewskiej

Jędrzejczyk-Korycińska M., Rostański A., 2015, Tereny o wysokiej zawartości metali ciężkich w podłożu na Górnym Śląsku, [w:] Ekotoksykologia. Rośliny, gleba, metale, M. Wierzbicka (red.), Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 171-185

Lu S., Yu X., Chen Y., 2016, Magnetic properties, microstructure and mineralogical phases of technogenic magnetic particles (TMPs) in urban soils: Their source identification and environmental implications, Science of the Total Environment, 543, 239-247, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.046

Łukasik A., Szuszkiewicz M., Magiera T., 2015, Impact of artifacts on topsoil magnetic susceptibility enhancement in urban parks of the Upper Silesian conurbation datasets, Journal of Soils and Sediments, 15, 1836-1846, DOI: 10.1007/s11368-014-0966-5

Magiera T., Jabłońska M., Strzyszcz Z., Rachwał M., 2011, Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts, Atmospheric Environment, 45 (25), 4281-4290, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.076

Magiera T., Żogała B., Szuszkiewicz M., Pierwoła J., Szuszkiewicz M., 2019, Combination of different geophysical techniques for the location of historical waste in the Izery Mountains (SW Poland), Science of the Total Environment, 682, 226-238, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.180

Majgier L., Badera J., Rahmonov O., 2010, Kamieniołomy w województwie śląskim jako obiekty turystyczno-rekreacyjne na terenach uprzemysłowionych, [w:] Krajobrazy rekreacyjne – kształtowanie, wykorzystanie, transformacja, Problemy Ekologii Krajobrazu, 27, 267-275

Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., 2009, Effects of anthropopressure and soil properties on the accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the upper layer of soils in selected regions of Poland, Applied Geochemistry, 24 (10), 1918-1926, DOI: 10.1016/j.apgeochem.2009.07.005

Masters P., Stichelbaut B., 2009, From the air to beneath the soil – revealing and mapping great war trenches at Ploegsteert (Comines-Warneton), Belgium, Archaeological Prospection, 16 (4), 279-285, DOI: 10.1002/arp.357

Misiewicz K., Małkowski W., 2009, New data from magnetic survey of Ptolemais, Revue d'Archéométrie, 33, 117-120, DOI: 10.4000/archeosciences.1402

Petrovský E., Kapička A., Jordanova N., Knab M., Hoffmann V., 2000, Low-field magnetic susceptibility: a proxy method of estimating increased pollution of different environmental systems, Environmental Geology, 39, 312-318, DOI: 10.1007/s002540050010

Pierwoła J., Szuszkiewicz M., Cabała J., Jochymczyk K., Żogała B., Magiera T., 2020, Integrated geophysical and geochemical methods applied for recognition of acid waste drainage (AWD) from Zn-Pb post-flotation tailing pile (Olkusz, southern Poland), Environmental Science and Pollution Research, 27, 16731-16744, DOI: 10.1007/s11356-020-08195-4

Rosowiecka O., Nawrocki J., 2010, Assessment of soils pollution extent in surroundings of ironworks based on magnetic analysis, Studia Geophysica et Geodaetica, 54 (1), 185-194, DOI: 10.1007/s11200-010-0009-7

Thompson R., Oldfield F., 1986, Environmental magnetism, Allen and Unwin, London

Vermeulen F., Corsi C., De Dapper M., 2012, Surveying the townscape of Roman Ammaia in Portugal: An integrated geoarchaeological investigation of the forum area, Geoarchaeology, 27 (2), 123-139, DOI: 10.1002/gea.21402

Wojas A., 2017, The magnetic susceptibility of soils in Kraków, southern Poland, Acta Geophysica, 65 (3), 453-463, DOI: 10.1007/s11600-017-0041-x

Wynne-Jones S., 2012, Exploring the use of geophysical survey on the Swahili coast: VumbaKuu, Kenya, Azania: Archaeological Research in Africa, 47 (2), 137-152, DOI: 10.1080/0067270X.2012.677324

Zawadzki J., Szuszkiewicz M., Fabijańczyk P., Magiera T., 2016, Geostatistical discrimination between different sources of soil pollutants using a magneto-geochemical data set, Chemosphere, 164, 668-676, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.08.145

S t r e s z c z e n i e

Głównym celem badań była ocena stopnia antropopresji na obszarach historycznej działalności górniczej w oparciu o uzyskany szczegółowy rozkład przestrzenny (pionowy i powierzchniowy) anomalii (i.e. podatności magnetycznej i gradientu składowej pionowej pola magnetycznego) oraz geochemicznych występujących w glebie (zawartości wybranych potencjalnie toksycznych pierwiastków (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn), Fe i Mn). Uzyskane wyniki badań pokazują, iż wieloletnia, historyczna działalność górnicza prowadzona w rejonie badań skutkuje obecnością w glebie rozmaitych artefaktów (np. śruby, gwoździe, nakrętki, pręty, żużel, cegły oraz węgiel drzewny), przede wszystkim związanych bezpośrednio bądź pośrednio z wydobywanymi rudami metali (Ag, Fe, Zn czy Pb). Anomalie, zarówno podatności magnetycznej, jak i gradientu składowej pionowej pola magnetycznego, występujące w glebach badanych obszarów są efektem współwystępowania artefaktów i technogenicznych cząstek magnetycznych. Przy czym, w oparciu o wyliczone wartości współczynnika przekształcenia, należy podkreślić, że dominującym źródłem tych anomalii

są artefakty i przekształcenia terenu związane z historyczną eksploatacją występujących na badanych obszarach rud metali. Ponadto, z punktu widzenia badań podstawowych, interesujące są wyniki pomiarów częstotliwościowej zależności podatności magnetycznej (powyżej 5%), które związane były z próbkami gleby, gdzie stwierdzono obecność węgli drzewnych, co wymaga dogłębnego przeanalizowania i dodatkowych specjalistycznych pomiarów magnetycznych, przed wyciągnięciem dalszych wniosków.

Słowa kluczowe: magnetyzm środowiskowy, gradiometria magnetyczna, antropopresja.

S u m m a r y

The main project objective was to assess the anthropopressure degree in the areas located in the historical mining activity regions, on the basis of the results obtained in detailed spatial distribution (vertical and surface) of the magnetic (i.e. magnetic susceptibility and gradient of the vertical magnetic field component) as well as geochemical (concentration of characteristic Potentially Toxic Elements (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn), Fe and Mn) anomalies in soil.The results show that the long-term historical mining activity has had a significant influence on the presence of various magnetic artefacts (e.g. metal scraps: screws, nails, twigs; slags; bricks; and charcoal particles) related to the metal bearing ore mining (Ag, Fe, Pb or Zn). The studied magnetometeric and gradiometric anomalies occur in the soil are effect of co-occurrence artefacts and technogenic magnetic particles. However, values of the Topsoil Transformation Factor, indicating artefacts as the predominant source of the studied anomalies and the post-exploitation land transformations of the soil. Moreover, in terms of basic research, unexpected were results of the frequency-dependent magnetic susceptibility measurements (above 5%) related to soil samples characterised by the presence of charcoal particles, but this needs to be verified.

Key words: environmental magnetism, magnetic gradiometry, anthropopressure.