**Referat wygłoszony na posiedzeniu Komisji Nauk Geologicznych PAN Oddział w Krakowie w dniu 10 marca 2021 r.**

dr inż. Anna Wojas

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,

al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geofizyki

awojas@agh.edu.pl

ORCID: 0000-0001-5982-9129

**„*Zmiany podatności magnetycznej gleb w płytkich, pionowych otworach***

***na obszarze Krakowa”***

*Distribution of soils magnetic susceptibility in shallow, vertical holes in the area of Krakow*

**Abstrakt**

W referowanej pracy przedstawiono wyniki pomiarów pozornej podatności magnetycznej gleb Krakowa. Pomiary zrealizowano w płytkich pionowych otworach zlokalizowanych na obszarze występowania anomalii kappametrycznych. Interpretację przeprowadzono w oparciu o: typ gleby i rodzaj skały macierzystej, możliwe źródła nośników magnetycznych, sposób użytkowania terenu. Badania zostały ponadto wsparte analizami geochemicznymi.

Stwierdzono, że rozkłady podatności magnetycznej w profilach glebowych są bardzo charakterystyczne dla lokalizacji miejsca pomiaru i odzwierciedlają wzajemne współzależności pomiędzy czynnikami naturalnymi i antropogenicznymi. W przypadku obszarów silnie zurbanizowanych występują bardzo gwałtowne zmiany podatności magnetycznej wzdłuż profili, a podatność magnetyczna gleby charakteryzuje się bardzo wysokimi wartościami, co może być efektem nie tylko zanieczyszczenia gleby, ale również obecności w niej dodatkowego materiału i/lub obiektów zawierających w swoim składzie żelazo. Z kolei na terenach uprzemysłowionych najważniejszą rolę odgrywa czynnik antropogeniczny, który maskuje naturalne właściwości magnetyczne występujących tam czarnoziemów. Natomiast dla terenów leśnych, w najmniejszym stopniu poddanych antropopresji, notowane są najniższe wartości podatności magnetycznej gleb. Dodatkowo możliwy jest wpływ czynnika pedogenicznego oraz litogenicznego na właściwości magnetyczne gleb leśnych.

W każdym miejscu pomiarowym zaobserwowno maksimum związane z depozycją pyłów atmosferycznych, którego zasięg głębokościowy (od 10 do 30 cm) zależy przede wszystkim od poziomu antropopresji. Na głębokościach powyżej 40 cm zauważyć można zależność pomiędzy podatnością magnetyczną i typem gleby (rodzajem skały macierzystej). W przypadku gleb lessowych i czarnoziemów występujących w północno-wschodniej części Krakowa podatność magnetyczna gleb stabilizuje się na poziomie ok. 50 ∙10-5 [SI] odzwierciedlającym tym samym podwyższone, naturalne właściwości magnetyczne tych gleb.

**1. Wprowadzenie**

Podatność magnetyczna jest własnością materiału (pochodzenia naturalnego lub antropogenicznego), której wartość mogą zmieniać warunki zewnętrzne, takie jak temperatura czy ciśnienie. Z petrologicznego punktu widzenia podatność magnetyczna skał zależy od: zawartości minerałów magnetycznych (w szczególności tlenków żelaza), składu mineralnego, właściwości magnetycznych poszczególnych minerałów, kształtu ziaren magnetycznych, tekstury i rodzaju skały. Czynniki te mają silny wpływ na właściwości magnetyczne warstw przypowierzchniowych: strefy wietrzenia i pokrywy glebowej.

Podatność magnetyczna odzwierciedla zmiany zachodzące w glebie pod wpływem czynników różnego pochodzenia: antropogenicznych (pożary, depozycja cząstek magnetycznych na powierzchni ziemi, silne nawadnianie) i/lub naturalnych (procesy fizyczne, procesy chemiczne: utlenianie, redukcja, hydratyzacja, rozpuszczanie itp.) [1].

Referat dotyczy zmian podatności magnetycznej gleby w pionowych profilach na obszarze Krakowa. Zwrócono uwagę na zastosowanie magnetometrii glebowej w:

- opisie właściwości magnetycznych gleby,

- ocenie zanieczyszczenia gleby,

- rozpoznaniu czynników wpływających na właściwości magnetyczne gleby.

Podjęto próbę wykrycia źródeł wzbogacenia magnetycznego [2, 3, 4, 5] dla anomalii podatności magnetycznej zarejestrowanych w obrębie profili glebowych. W opisie wyników przedstawiono również: rodzaje użytkowania terenu, lokalizację źródeł zanieczyszczeń, typ gleby i wyniki analiz geochemicznych próbek gleb (zawartość metali ciężkich w glebach oraz odczyn gleby).

Na badanym terenie występuje bardzo dużo źródeł zanieczyszczenia gleby. Do najważniejszych należą: pyły i popioły lotne emitowane przez zakłady przemysłowe, pyły ze spalania węgla w lokalnych kotłowniach i przydomowych piecach oraz emisje drogowe. Topografia miasta negatywnie wpływa na cyrkulację mas powietrza, a cząstki stałe z powietrza osadzają się zwykle na powierzchni ziemi w niewielkiej odległości od emiterów. Badany obszar poddany jest znacznej antropopresji, dlatego w glebach można znaleźć niekiedy wiele obiektów pochodzenia antropogenicznego o różnych własnościach magnetycznych.

Na obszarze Krakowa wyróżniono trzy anomalie podatności magnetycznej przypowierzchniowej warstwy gleby. Rozpoznanie pionowego rozkładu podatności magnetycznej gleb w obszarach anomalnych było kolejnym etapem badań i referat obejmuje szczegółowe przedstawienie wyników tych badań.

**2. Metodyka badań**

Pomiary pozornej podatności magnetycznej (a):

 $k\_{a}=\frac{\left(J\_{i}+J\_{r}\right)∙μ\_{0}}{T}$ [1]

gdzie: Ji - namagnesowanie indukcyjne [A/m], Jr - namagnesowanie resztkowe [A/m], μ0 – przenikalność magnetyczna próżni [4π ∙10-7 henr/m], T - całkowita wartość indukcji pola magnetycznego [nT]

przeprowadzono dla przypowierzchniowej warstwy gleb Krakowa (do ok. 10 cm głębokości) za pomocą czujnika MS2D i miernika MS2 firmy Bartington [6]. Pomiary wykonano na 112 stanowiskach pomiarowych , w siatce 2 x 2 km, obejmując obszar Krakowa o powierzchni ok. 327 km2.

Następnie wykonano pomiary pozornej podatności magnetycznej w pionowych otworach na 37 stanowiskach (Rys. 1), na których stwierdzono wysokie wartości (powyżej 50 ∙10-5 [SI]) podatności magnetycznej przypowierzchniowej warstwy gleb. Profilowanie podatności magnetycznej warstw było możliwe przy użyciu czujnika wgłębnego MS2H, miernika MS2 i laptopa z oprogramowaniem Multisus firmy Bartigton [6, 7].

W celu analizy zawartości metali ciężkich w glebie i wartości pH zostały pobrane próbki gleby.



Rys. 1. Lokalizacja 37 stanowisk pomiarowych pozornej podatności magnetycznej gleb w płytkich otworach na obszarze Krakowa.

**3. Dyskusja wniosków i podsumowanie**

Badania podatności magnetycznej gleb w Krakowie w pionowych otworach wykazały, że właściwości magnetyczne gleb zmieniają się w bardzo szerokich zakresach. Znaczne zróżnicowanie podatności magnetycznej jest dobrze widoczne w parametrach statystycznych, mianowicie dla wszystkich mierzonych wartości, wartość średnia wynosi 86 ∙10-5 [SI], a mediana 48 ∙10-5 [SI].

Zmiany podatności magnetycznej gleb w pionowych otworach są ściśle związane z miejscem wykonywania pomiarów i zależą m.in. od zanieczyszczenia gleby. Wysokie wartości podatności magnetycznej i nagłe zmiany tego parametru wraz z głębokością zostały stwierdzone w centrum Krakowa. Może to być związane z: zanieczyszczeniem gleby, obecnością w glebie artefaktów zawierających żelazo, a także ewentualnie z wymieszaniem gleby. W tym miejscu należy zwrócić uwagę na otoczenie elektrociepłowni ze względu na występującą tam anomalię podatności magnetycznej gleb oraz bardzo dużą zmienność podatności magnetycznej z głębokością (Rys. 2).



Rys. 2 . Zmiany podatności magnetycznej w profilach glebowych w okolicy Elektrociepłowni „Kraków” (obszar anomalii kappametrycznej we wschodniej części Krakowa).

 Uzyskane rozkłady głębokościowe podatności magnetycznej gleb odpowiadają typowi antropogenicznemu z charakterystycznym maksimum dla górnej warstwy. Maksimum podatności magnetycznej w warstwie przypowierzchniowej (w tym w poziomie organicznym) widoczne było dla wszystkich miejsc pomiarowych. Zwykle jego intensywność i zasięg pionowy (Rys. 3) związane są przede wszystkim z zanieczyszczeniem gleby (depozycją pyłów):

- w glebach leśnych (nr stanowisk pomiarowych: 41, 87) maksimum występowało do 10 cm głębokości,

- na terenach zurbanizowanych (okolice elektrociepłowni, dzielnica Nowa Huta) obserwowano maksimum do 20 cm głębokości,

- na terenach poddanych silnej antropopresji związanej z wieloletnią działalnością przemysłową (otoczenie zakładu przemysłowego) maksimum było widoczne do 30 cm głębokości.



Rys. 3. Zmiany podatności magnetycznej gleb w pionowych otworach na obszarach o różnym stopniu antropopresji.

Pomimo dużego wpływu czynnika antropogenicznego na badany teren w niektórych lokalizacjach stwierdzono możliwy wpływ czynnika pedogenicznego (stanowiska nr 15, 19, 87) i litogenicznego (stanowiska nr: 11, 18, 69, 112) [8].

Jak wspomniano, rozkład głębokościowy podatności magnetycznej gleby jest ściśle związany z lokalizacją stanowiska pomiarowego, zależy od stopnia zanieczyszczenia gleby, a ponadto zależy także od geologii tego obszaru (skały macierzystej, typu gleby). W przypadku skał macierzystych, które są bardzo słabe magnetycznie takich jak: wapienie, osady fluwioglacjalne, gliny i iły mioceńskie, zaobserwowano bardzo niskie wartości podatności magnetycznej (bliskie zeru) w głębszych częściach profili:

- w południowo-zachodniej części miasta (stanowiska nr: 41, 76),

- w centrum miasta (stanowisko pomiarowe nr 99),

- na zachód od zakładu przemysłowego (stanowiska nr: 86, 13, 14, 15, 16),

- na południe od zakładu przemysłowego (stanowiska nr: 7, 9).

Natomiast w przypadku gleb lessowych i czarnoziemów występujących w północno-wschodniej części Krakowa podatność magnetyczna gleb nie „spadła” do zera, ale ustabilizowała się na poziomie ok. 50 ∙ 10-5 [SI] [9,10]. Ilustruje to Rys. 4:



Rys. 4. Zmiany podatności magnetycznej w profilach glebowych na obszarach występowania czarnoziemów (obszar anomalii kappametrycznej we wschodniej części Krakowa).

Podsumowując, badania podatności magnetycznej gleb w pionowych otworach na obszarze Krakowa pozwoliły na lepsze rozpoznanie właściwości magnetycznych gleb zanieczyszczonych i wskazały warstwy, które są najbardziej dotknięte antropopresją.

*Praca została wykonana w ramach grantu dziekańskiego nr 15.11.140.077 KG WGGiOŚ AGH, pt. „Wykonanie pomiarów i wstępna obróbka danych pomiarowych w zakresie podatności magnetycznej gleb z rejonu Krakowa”.*

**Literatura:**

[1] Evans M.E. i Heller F., 2003: „Environmental Magnetism”, Academic Press Elsevier Science

[2] Heller F., Strzyszcz Z. i Magiera T., 1998: Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland, „Journal of Geophysical Research”, 103, B8

[3] Jeleńska M., Hasso-Agopsowicz A., Kądziałko-Hofmokl M., Kopcewicz B., Sukhorada A., Bondar K. i Matviishina Z., 2008: Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine, „Acta Geophysica”, Vol. 56, no 4

[4] Magiera T., 2004: „Wykorzystanie magnetometrii do oceny zanieczyszczenia gleb i osadów jeziornych”, Prace i Studia, Vol. 59, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze

[5] Strzyszcz Z. i Magiera T., 1996: The influence of industrial immissions on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia, „Studia Geophysica et Geodaetica”, 40

[6] Bartington Instruments Ltd.: „Operation Manual for MS2 Magnetic Susceptibility System”, OM0408, Anglia

[7] Dearing J.A., 1999: „Environmental Magnetic Susceptibility. Using the Bartington MS2 System”, Chi Publishing, OM0409, Anglia

[8] Magiera T., Strzyszcz Z., Kapicka A. i Petrovsky E., 2006: Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe, „Geoderma”, 130

[9] Hasso-Agopsowicz A., Jeleńska M. i Wicik B., 2004: Magnetic susceptibility of chernozems, „Miscellanea Geographica”, Warszawa, Vol. 11

[10] Jeleńska M., Hasso-Agopsowicz A., Kądziałko-Hofmokl M., Sukhorada A., Bondar K. i Matviishina Z., 2008b: Magnetic iron oxides occuring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicatiors of pedogenic processes, „Studia Geophysica et Geodaetica”, Vol. 52