

BADANIA PODATNOŚCI MAGNETYCZNEJ GLEB MIEJSKICH W KRAKOWIE

The investigations of magnetic susceptibility of urban soils in Krakow

Anna WOJAS

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Geofizyki;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: Anna.Wojas@agh.edu.pl*

Abstract: In the presented paper, the results of field and laboratory investigations of magnetic susceptibility of soils in Krakow are described. Low susceptibility was observed for soils under the forest terrain whereas higher susceptibility was measured on the open area. The presence of magnetic particles of the anthropogenic origin in soils of Lasek Łęgowski and Łąki Nowohuckie areas was discovered.

Key words: magnetic susceptibility, soil pollution, urban soils

Słowa kluczowe: podatność magnetyczna, zanieczyszczenie gleby, gleby miejskie

WSTĘP

Podatność magnetyczna jest parametrem fizycznym określającym stan środowiska naturalnego i stosowanym m.in. jako wskaźnik zanieczyszczenia gleby. Badania podatności magnetycznej wykonuje się przede wszystkim na terenach objętych działalnością przemysłową. Gleby takich obszarów wykazują podwyższoną podatność magnetyczną (Thompson & Oldfield 1986, Strzyszczyński 1993, Magiera *et al.* 2002, Magiera 2004). W tym przypadku podatność magnetyczna gleby związana jest z występującymi w niej minerałami ferrimagnetycznymi pochodzenia antropogenicznego, m.in. magnetytu Fe_3O_4 i maghemitu $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

Związki żelaza, będące efektem działalności ludzkiej, są składnikami pyłów i popiołów lotnych oraz aerozoli przemysłowych, które powstają w wyniku spalania węgla kamiennego i brunatnego (Magiera *et al.* 2002), w procesach wytopu żelaza i metali nieżelaznych oraz produkcji cementu (Magiera 2004). Badania geochemiczne popiołów lotnych wykazały, że w wysokich temperaturach do sieci krystalograficznej magnetytu i różnych odmian ferrytów mogą zostać wprowadzone metale ciężkie (Magiera *et al.* 2002). Przeprowadzone analizy wskazały również możliwość akumulacji szkodliwych związków na powierzchni cząstek magnetycznych.

Emisje przemysłowe po bliższym bądź dalszym transporcie powietrznym, opadają na ziemię i akumulują się w przypowierzchniowych (organicznych) horyzontach gleby. W ten sposób do gleby wraz z cząstkami magnetycznymi wprowadzane są metale ciężkie. Zależność

wzrostu podatności magnetycznej gleby wraz ze wzrostem zawartości w niej metali ciężkich, takich jak Zn, Pb, Cd, zauważono dużo wcześniej (Strzyszczyński 1989). Wysokie podatności gleby występujące w Polsce na obszarach przemysłowych znajdują potwierdzenie w wynikach badań geochemicznych gleb (Pasięcka 2003).

Nagromadzenie w glebie metali ciężkich stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia człowieka, gdyż metale ciężkie towarzyszące cząstkom żelaza mogą się niespodziewanie uwalniać w sprzyjających warunkach (zakwaszenie gleby), dopiero po upływie pewnego czasu (tzw. „bomba ekologiczna”) (Magiera 2004).

METODYKA BADAŃ

Pomiary podatności magnetycznej gleb wykonuje się przy użyciu dwóch rodzajów przyrządów: aparatury MS2 (Bartington, Anglia) i kappabridża (AGICO, Czechy). Czujnikiem w tych przyrządach jest cewka indukcyjna zasilana prądem zmiennym o częstotliwości rzędu kilkuset lub kilku tysięcy Hz.

Kappabridż, charakteryzujący się najwyższą czułością (10^{-8} SI), stosowany jest w badaniach laboratoryjnych. W porównaniu z nim aparatura MS2 posiada mniejszą czułość ($2 \cdot 10^{-6}$ SI), jednakże wyposażenie miernika MS2 w zestaw czujników umożliwia przeprowadzenie zarówno badań w warunkach laboratoryjnych (podatność objętościowa), jak i *in situ* (podatność pozorna). Aparatura MS2 i kappabridż mierzą zmiany indukcyjności cewki spowodowane wprowadzeniem do czujnika próbki o określonej przenikalności magnetycznej, różnej od przenikalności magnetycznej powietrza. Zmiana przenikalności magnetycznej wyrażona jest poprzez zmianę SEM indukcji na wyjściu i konwertowana do wartości podatności magnetycznej próbki gleby. Zależność pomiędzy podatnością magnetyczną i przenikalnością magnetyczną opisuje wzór (1)

$$\kappa = \mu_r - 1 \quad (\text{układ SI}) \quad (1)$$

gdzie: κ – podatność magnetyczna objętościowa [–], μ_r – względna przenikalność magnetyczna [–].

W badaniach środowiskowych objętościową podatność magnetyczną przelicza się na podatność magnetyczną masową, wyrażoną wzorem (2)

$$\chi = \frac{\kappa}{\rho} \quad (2)$$

gdzie: χ – masowa podatność magnetyczna [m^3/kg], κ – objętościowa podatność magnetyczna [–], ρ – gęstość objętościowa próbki [kg/m^3].

REKONESANSOWE BADANIA PODATNOŚCI MAGNETYCZNEJ GLEB

Przedstawione w pracy badania wykonano w Krakowie na obszarze Lasku Łęgowskiego i Łąk Nowohuckich zlokalizowanych około 7 km na wschód od centrum miasta.

Tereny te poddane są silnej antropopresji poprzez mieszczące się w pobliżu zakłady przemysłowe (dawna Huta im. T. Sendzimira, Elektrociepłownia KRAKÓW) i występujące zanieczyszczenia miejskie.

Na badanych obszarach występują różne odmiany gleb. W Lasku Łęgowym gleba składa się z ilów i glin pylastych. Utwory te osadziły się w wyniku licznych powodzi mających miejsce w przeszłości. Natomiast na Łąkach Nowohuckich występują gleby hydrogeniczne. Są to gleby glejowe, murszowe i mady rzeczne (Walasz 2004). Przeprowadzone w latach 90. badania geochemiczne gleb aglomeracji krakowskiej (Lis & Pasieczna 1995, Pasieczna 2003) wykazały, że gleby te nie są zanieczyszczone metalami ciężkimi szczególnie groźnymi dla zdrowia człowieka (Zn, Pb, Cd, Hg). Na obszarze Lasku Łęgowego i Łąk Nowohuckich podłoże zbudowane jest z niemagnetycznych utworów osadowych, tj. mułków, glin i piasków, które nie mają wpływu na podatność magnetyczną wyżej leżących gleb.

Badania podatności magnetycznej gleb przeprowadzone zostały w terenie i w warunkach laboratoryjnych. Pomiary podatności *in situ* wykonano przy użyciu aparatury Bartington z czujnikiem MS2D („pętla”). W laboratorium stosując czujnik MS2B (Pracownia Petrofizyki Katedry Geofizyki WGGiOŚ AGH) i kappabridż (Pracownia Geofizyki, Zakład Kartografii Geologicznej Struktur Wgłębnich, PGI) pomierzono podatność objętościową pobranych próbek gleb przy niskiej i wysokiej częstotliwości, co pozwoliło na obliczenie częstotliwościowego współczynnika podatności i określenie pochodzenia (antropogeniczne, naturalne) cząstek magnetycznych zawartych w glebach.

POMIARY TERENOWE

Badania podatności magnetycznej gleb w Krakowie wykonano na dwóch obszarach – zalesionym (Lasek Łęgowy) i odkrytym (Łąki Nowohuckie) (Fig. 1).

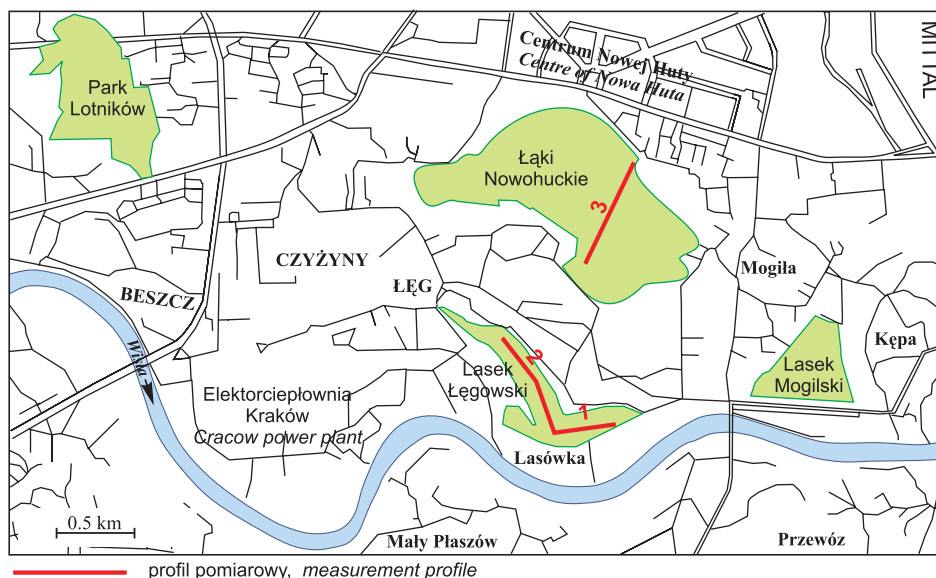


Fig. 1. Lokalizacja profili pomiarowych w Lasku Łęgowym i w obrębie Łąk Nowohuckich na mapie Krakowa

Fig. 1. Location of measurement profiles on Lasek Łęgowy and Łąki Nowohuckie areas (Krakow)

W Lasku Łęgowskim, zlokalizowanym w niewielkiej odległości od Elektrociepłowni KRAKÓW (Fig. 2), wykonano dwa profile pomiarowe o kierunkach NNW-SSE i WWS-EEN (Fig. 1) o łącznej długości 1 km. Pomiarów podatności dokonywano wzdłuż profili stosując 10-metrowy krok pomiarowy. W celu osiągnięcia miarodajnego wyniku pomiaru odnośnie do podatności gleby, czujnik MS2D przykładano do powierzchni gleby po odgarnięciu ściółki.



Fig. 2. Kominy Elektrociepłowni KRAKÓW od południowego-wschodu

Fig. 2. The chimneys of KRAKOW power plant from the south-east side

Przeprowadzone badania terenowe wykazały niską podatność magnetyczną gleby w tym rejonie, mieszczącą się w zakresie $22 \div 79 (\cdot 10^{-5} \text{ SI})$ (Fig. 3). Podanej wielkości podatności nie należy łączyć z brakiem zanieczyszczeń w Lasku Łęgowskim. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że zanieczyszczenia te są akumulowane w ściółce, którą podczas pomiarów usuwano.

Gromadzenie zanieczyszczeń w ściółce leśnej, będącej najwyższym horyzontem organicznym gleby (O_1) jest opisane w pracach Strzyszcza (1993) i Magiery (2004). Przeprowadzone przez Magierę badania gleb leśnych wykazały, że drzewostany stanowią naturalną barierę dla gleb przed opadającymi na powierzchnię ziemi metalami ciężkimi. Wzdłuż profilu 2 w Lasku Łęgowskim zaobserwowano powolną tendencję wzrostu podatności w kierunku drogi o wzmożonym ruchu samochodowym. Może to być spowodowane zwiększoną zawartością w glebie żelaza, pochodzącego ze spalin i będącego wynikiem pracy silników samochodowych (Polechońska 2007). Wyniki pomiarów na profilach 1 i 2 przedstawiono na wykresach (Fig. 3).

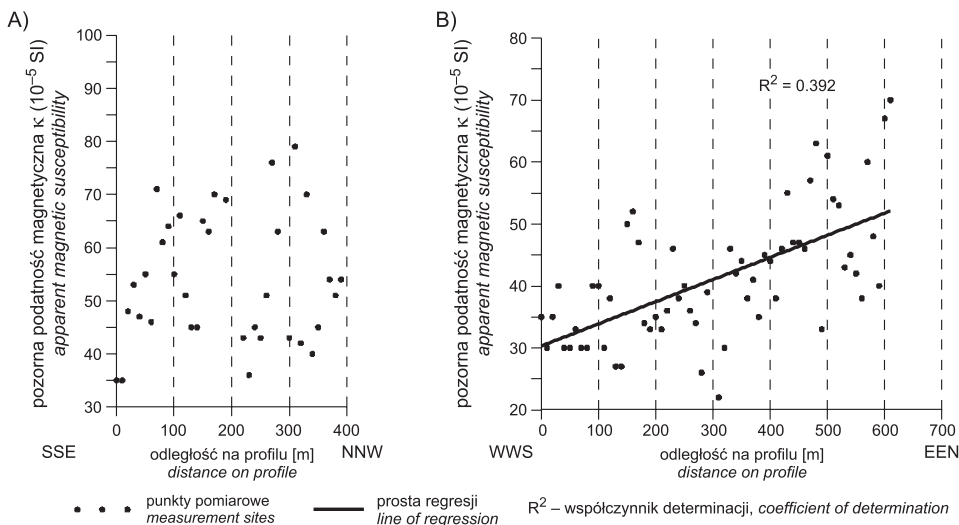


Fig. 3. Wykresy pozornej podatności magnetycznej gleby wzdłuż profili w Lasku Łęgowskim: A) profil pomiarowy 1; B) profil pomiarowy 2 (Zagrodzka 2008)

Fig. 3. Plots of apparent magnetic susceptibility of soil along profiles on Lasek Łęgowski area: A) 1 measurement profile; B) 2 measurement profile (Zagrodzka 2008)

Drugi obszar badań podatności magnetycznej gleb zlokalizowany był na terenach Łąk Nowohuckich (Fig. 1), oddalonych na północny-wschód od Lasku Łęgowskiego i znajdujących się w pobliżu Placu Centralnego w Nowej Hucie.

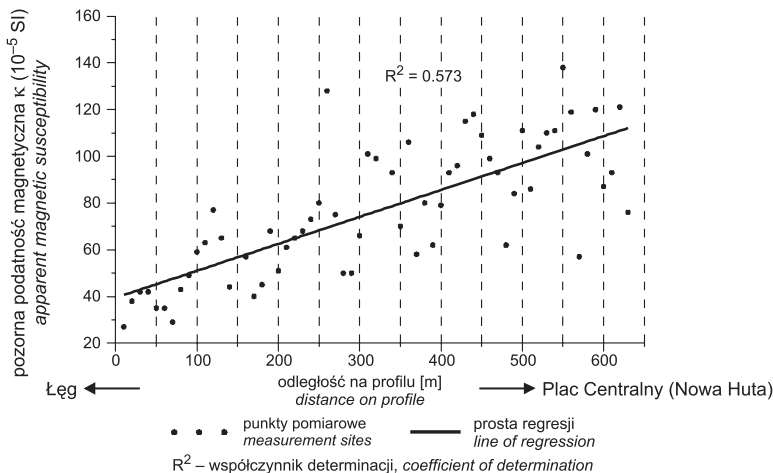


Fig. 4. Wykres pozornej podatności magnetycznej gleby wzdłuż profilu pomiarowego na Łąkach Nowohuckich

Fig. 4. Plot of apparent magnetic susceptibility of soil along the measurement profile on Łąki Nowohuckie area

Region ten poddany jest silnej antropopresji, co należy wiązać z możliwym dużym zanieczyszczeniem gleb i ich wysoką podatnością magnetyczną. Jednak z drugiej strony, w występujących tam glebach hydrogenicznych mogą zachodzić procesy oglejenia czy murszenia, które powodują obniżenie podatności gleb (Evans & Heller 2003).

Pomiary podatności na Łąkach Nowohuckich przeprowadzono na profilu długości 630 m, o kierunku SSW-NNE, z 10-metrowym krokiem pomiarowym (Fig. 1). Zaobserwowano wzrost podatności magnetycznej gleb w kierunku centrum Nowej Huty (Fig. 4), co może świadczyć o większej depozycji zanieczyszczeń miejsko-przemysłowych na powierzchni ziemi od strony huty. Nie wykazano obniżenia podatności gleby mogącego posiadać związek z procesami oglejenia i murszenia, występującymi w tym rejonie (Walasz 2004). Brak obniżenia podatności może być związany z niską intensywnością tych procesów i ich „maskowaniem” w wyniku podwyższonej zawartości żelaza w glebie. Wyniki pomiarów terenowych zestawiono w tabeli 1.

Tabela (Table) 1

Profile pomiarowe 1 i 2 – Lasek Łęgowski, profil 3 – Łąki Nowohuckie (Zagrodzka 2008)
Measurement profiles 1 and 2 – Lasek Łęgowski area, profile 3 – Łąki Nowohuckie area (Zagrodzka 2008)

Profil Profile	Długość profilu [m] Length of profile [m]	Pozorna podatność magnetyczna Apparent magnetic susceptibility	
		κ_{\min} ($\cdot 10^{-5}$ SI)	κ_{\max} ($\cdot 10^{-5}$ SI)
1	390	35	79
2	610	22	70
3	630	27	138

BADANIA LABORATORYJNE

Badania laboratoryjne przeprowadzono na 14 próbkach gleb pochodzących z Lasku Łęgowskiego i 10 próbkach z Łąk Nowohuckich. Pomiary objętościowej podatności magnetycznej wykonano czujnikiem MS2B aparatury Bartington i kappabridżem. Następnie próbki zważono na wadze laboratoryjnej i obliczono masową podatność magnetyczną (2). Przedstawione poniżej wyniki badań uzyskano z pomiarów podatności magnetycznej próbek gleb czujnikiem MS2B. Największa liczba próbek posiada podatność masową $50 \div 100$ ($\cdot 10^{-8}$ m³/kg). Gleba pobrana na Łąkach Nowohuckich wykazuje dość duże zróżnicowanie podatności magnetycznej w zestawieniu z glebą Lasku Łęgowskiego, której podatność mieści się w przedziale od 50 do 150 ($\cdot 10^{-8}$ m³/kg). Próbki gleby z Łąk Nowohuckich posiadają dużo wyższą podatność magnetyczną w porównaniu z podatnością próbek gleby z Lasku Łęgowskiego (Fig. 5 i Tab. 2). Masowa podatność magnetyczna, powyżej $100 \cdot 10^{-8}$ m³/kg, wskazuje na średni stopień zanieczyszczenia gleb (Magiera *et al.* 2002).

Pomiary objętościowej podatności magnetycznej wykonano czujnikiem MS2B przy dwóch różnych częstotliwościach, co pozwoliło na obliczenie częstotliwościowego współczynnika podatności określanego wzorem (3)

$$f_d = \frac{\kappa_{lf} - \kappa_{hf}}{\kappa_{lf}} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie:

- κ_{lf} – objętościowa podatność magnetyczna próbki mierzona przy niskiej częstotliwości,
- κ_{hf} – objętościowa podatność magnetyczna próbki mierzona przy wysokiej częstotliwości.

Otrzymane wartości współczynnika f_d (Tab. 2) są niskie i mieszczą się w granicach od 0 do 4%, co wskazuje na antropogeniczne pochodzenie cząstek magnetycznych zawartych w glebach obu obszarów (Evans & Heller 2003).

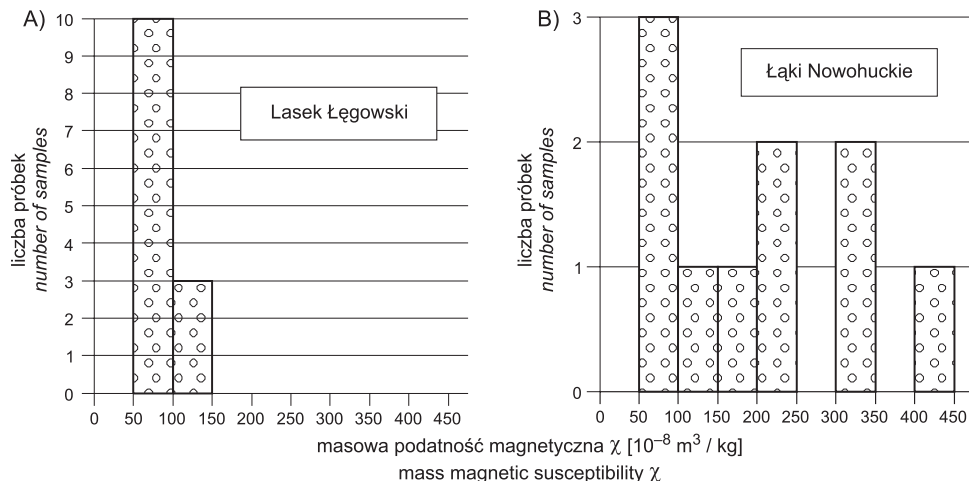


Fig. 5. Histogramy masowej podatności magnetycznej próbek gleb pobranych na terenie: A) Lasku Łęgowskiego; B) Łąk Nowohuckich

Fig. 5. Histograms of mass magnetic susceptibility of the samples of soils: A) Lasek Łęgowski area; B) Łąki Nowohuckie area

Tabela (Table) 2

Masowa podatność magnetyczna próbek gleb pobranych na obszarze Lasku Łęgowskiego i Łąk Nowohuckich

Mass magnetic susceptibility of the samples of soils from Lasek Łęgowski and Łąki Nowohuckie areas

Miejsce pomiaru <i>Measurement area</i>	Pozorna podatność magnetyczna <i>Apparent magnetic susceptibility</i> κ ($\cdot 10^{-5}$ SI)	Częstotliw. współczynnik podatności <i>Frequency coefficient of susceptibility</i> f_d [%]	Obliczona masowa podatność magnet. <i>Calculated mass magnetic susceptibility</i> χ ($\cdot 10^{-8}$ m ³ /kg)	
			z pomiaru kappabridżem <i>from measurement by kappabridge</i>	z pomiaru czujnikiem MS2B <i>from measurement by sensor MS2B</i>
Lasek Łęgowski	38÷111	0÷4	72÷159	55÷122
Łąki Nowohuckie	69÷224	0÷1	97÷551	74÷414

PODSUMOWANIE

Przedstawione badania mają charakter rekonesansowy i dostarczają wstępnej informacji o podatności magnetycznej gleb w pobliżu zakładów przemysłowych Krakowa.

Gleby występujące na badanym obszarze posiadają podatność magnetyczną powyżej $100 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, co wskazuje na ich średni stopień zanieczyszczenia. Na terenie Lasku Łęgowskiego podatność magnetyczna gleby jest niższa w porównaniu z podatnością gleb Łąk Nowohuckich. Wyraźny wzrost podatności magnetycznej gleb obserwuje się w miarę zbliżania się do centrum Nowej Huty. Może to być związane z osiadaniem na tym obszarze zanieczyszczeń pochodzących z huty oraz będących wynikiem ruchu samochodowego.

Pomiary podatności wykonane w warunkach laboratoryjnych aparaturą MS2 i kappa-bridżem wykazują nieznaczne różnice. Niższe wartości podatności otrzymano przy pomiarach czujnikiem MS2B. Różnice w wynikach pomiarów są tym większe, im wyższą podatność posiadają badane próbki.

Badania laboratoryjne częstotliwościowego współczynnika podatności wykazały, że cząstki magnetyczne zawarte w glebach są pochodzenia antropogenicznego.

Praca była prezentowana na VII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Geofizyka w geologii, górnictwie i ochronie środowiska” organizowanej z okazji jubileuszu 90-lecia AGH na WGGiOŚ.

LITERATURA

- Evans M.E. & Heller F., 2003. *Environmental Magnetism*. Academic Press Elsevier, 1–299.
- Lis J. & Pasieczna A. 1995. *Atlas geochemiczny Krakowa i okolic 1:100000*. PIG, Warszawa.
- Magiera T., 2004. *Wykorzystanie magnetometrii do oceny zanieczyszczenia gleb i osadów jeziornych*. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze, 5–130.
- Magiera T., Lis J., Nawrocki J. & Strzyszc Z., 2002. *Podatność magnetyczna gleb Polski*. PIG, Warszawa, 3–7.
- Pasieczna A., 2003. *Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce*. PIG, Warszawa, 1–83, tab. 1–105.
- Polechońska O., 2007. *Źródła wybranych anomalii podatności magnetycznej gleb z obszaru Polski*. PIG, Warszawa, 2–129 (manuskrypt – praca doktorska).
- Strzyszc Z., 1993. *Magnetic susceptibility of the soils in the areas influenced by industrial emissions*. Soil Monitoring, Monte Verità, Birkhäuser Verlag, Basel, 255–269.
- Thompson R. & Oldfield F., 1986. *Environmental magnetism*. Allen and Unwin, London, 1–299.
- Walasz K., 2004. Charakterystyka przyrodnicza Łąk Nowohuckich. *Plan ochrony użytku ekologicznego Łąki Nowohuckie*. Archiwum Wydziału Gospodarki Komunalnej i Ochrony Środowiska Urzędu Miasta Krakowa.
- Zagrodzka (Wojas) A., 2008. *Podatność magnetyczna gleb w okolicy Elektrociepłowni Łęg w Krakowie*. WGGiOŚ AGH, Kraków, 7–94 (manuskrypt – praca magisterska).