

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

**Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków**

OCENA PRACY MAGISTERSKIEJ

IMIĘ I NAZWISKO DYPLOMANTA: Anna Zagrodzka

Nr albumu: 119895

KIERUNEK I SPECJALNOŚĆ: Inżynieria Środowiska, Geofizyka Środowiska

JEDNOSTKA DYPLOMUJĄCA: Zakład Geofizyki

TYTUŁ PRACY: „Podatność magnetyczna gleb w okolicy Elektrociepłowni Łęg
w Krakowie”

Topic: „Magnetic susceptibility of soils in the region of the Łęg thermal-electric power station in the Cracow”

PROMOTOR: prof. dr hab. inż. Teresa Grabowska

RECENZENT: prof. dr hab. inż. Jadwiga Jarzyna

Liczba: stron pracy: 94 rys.: 66 tabel: 9 pozycji literatury: 17

Załączniki (rodzaj i ilość): brak

Ocena punktowa pracy magisterskiej

RECENZENTA:

PROMOTORA:

Łączna ocena punktowa recenzenta i promotora:

Łączna ocena liczbowa i słowna:

Skala ocen (wg regulaminu studiów AGH, rozdz. IV, par.21, p.1)

Liczba punktów Ocena liczbowa i słowna

95 – 100.....6.0 (celująca)

81 – 94.....5.0 (bardzo dobra)

74 – 80.....4.5 (ponad dobra)

66 – 73.....4.0 (dobra)

58 – 65.....3.5 (ponad dostateczna)

50 – 57.....3.0 (dostateczna)

<50.....2.0 (niedostateczna)

.....
Podpis przewodniczącego komisji

Kraków, czerwiec, 2008

STRESZCZENIE PRACY

Celem badań było określenie wpływu emitowanych pyłów na podatność magnetyczną gleb w okolicy Elektrociepłowni KRAKÓW. Wyniki pomiarów wykazały wzrost podatności magnetycznej gleb w kierunku wschodnim (w stronę Nowej Huty). Oprócz badań w terenie wykonano badania w laboratorium, gdzie pomierzono ARM (bezhisterezowa pozostałość magnetyczna) i IRM (izotermiczna pozostałość magnetyczna). Przeprowadzono również badania termomagnetyczne. W próbkach gleb wykryto obecność magnetytu. Posługując się SEM zidentyfikowano sferule żelaziste.

Słowa kluczowe

Podatność magnetyczna; ferrimagnetyki pochodzenia antropogenicznego;
zanieczyszczenie gleby

ABSTRACT

The target of investigations was to describe the influence of emitted dusts on magnetic susceptibility of soils in the region of the thermal-electric power station CRACOW. The results of measurements showed the growth of the magnetic susceptibility of soils in the eastern direction (in the side of the Nowa Huta). Except investigations in the terrain, the study was performed in the laboratory, where ARM (anhysteretic remanent magnetization) and IRM (isothermal remanent magnetization) were measured. Thermomagnetic analyses were also performed. The presence of magnetite was detected in the samples of soils. Using SEM iron-rich magnetic spherules were identified.

Key words

Magnetic susceptibility; anthropogenic ferrimagnetics; soil pollution

Miejsce odbywania praktyki dyplomowej: KGF AGH / ZGF PGI

Program praktyki dyplomowej:

➤ **Katedra Geofizyki, Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie:**

1. Studiowanie literatury dotyczącej:
 - a) badań nad podatnością magnetyczną gleby,
 - b) pomiarów podatności magnetycznej gleby (laboratoryjnych i „*in situ*”).
2. Zapoznanie się z działaniem aparatury MS2 firmy Bartington służącej do pomiarów podatności magnetycznej gleby w warunkach laboratoryjnych i „*in situ*”.
3. Opracowanie projektu terenowych pomiarów podatności magnetycznej.
4. Pomiary podatności magnetycznej próbek gleby z okolicy Elektrociepłowni.

➤ **Zakład Geologii Regionalnej, Surowcowej i Geofizyki, Państwowy Instytut Geologiczny:**

1. Zapoznanie się z problematyką badań własności magnetycznych:
 - a) pomiary podatności magnetycznej próbek aparaturą MS2 firmy Bartington,
 - b) pomiary podatności magnetycznej przy użyciu kappabridża,
 - c) pomiary namagnesowania próbek gleby magnetometrem rotacyjnym.
2. Czynny udział w pomiarach podatności magnetycznej próbek skalnych wykonywanych w Zakładzie.

OŚWIADCZENIE AUTORA PRACY

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w wyższej uczelni i jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną. Ponadto przyjmuję do wiadomości, że praca dyplomowa lub jej część może być opublikowana jedynie po uzyskaniu pisemnej zgody promotora.

.....

Data

.....

Podpis autora

Jednostka dyplomująca
(pieczęć i podpis kierownika)

FORMULARZ OCENY PUNKTOWEJ PRACY MAGISTERSKIEJ

Oceniany element pracy	Ocena recenzenta	Ocena promotora	Suma ocen
I. ZAWARTOŚĆ MERYTORYCZNA [0 –40 pkt]			
1. Zgodność treści pracy z jej tytułem. [0 – 3 pkt]			
2. Literatura (poprawność opracowania wykazu literatury, kompletność danych bibliograficznych, poprawność cytowań) [0 – 3 pkt]			
3. Umiejętność sformułowania problemu badawczego i sposobu jego rozwiązania (samodzielność i inicjatywa badawcza, umiejętność opisu materiałów podstawowych i historii badań) [0 – 8 pkt]			
4. Metodyka badań (dobór właściwych metod badawczych i umiejętność ich zastosowania) [0 – 8 pkt]			
5. Dyskusja wyników badań i wnioski (logiczność wywodów, poprawność i krytyczna analiza wyników badań, znaczenie naukowe i praktyczne, w jakim stopniu uzyskane wyniki są własnością intelektualną magistranta) [0 – 15 pkt]			
6. Czy po dostosowaniu do wymogów redakcyjnych do publikacji nadaje się: cała praca [3 pkt], wybrane rozdziały [2 pkt], wybrane elementy pracy w formie komunikatu naukowego [1 pkt], brak możliwości [0 pkt] [0-3 pkt]			
Zawartość merytoryczna łącznie (suma punktów w wierszach: 1-6)			
II. STRONA EDYTORSKA [0 – 10 pkt]			
1. Poprawność składniowa, gramatyczna i ortograficzna pracy, staranność korekty tekstu. [0 – 5 pkt]			
2. Kompletność i poprawność rysunków, tabel i załączników [0 – 3 pkt]			
3. Estetyka pracy [0 – 2 pkt]			
Strona edytorska łącznie (suma punktów w wierszach: 1 – 3)			
ŁĄCZNA OCENA PUNKTOWA PRACY (suma punktów części I i II)			

Podpis recenzenta.....data

Podpis promotora.....data

(obligatoryjna jedynie w przypadku ocen skrajnych: 2.0 i 6.0)
(uzasadnienie wniosku o ewentualne wyróżnienie pracy)

RECENZENT

Podpis recenzenta

PROMOTOR

Podpis promotora

*Pragnę serdecznie podziękować
Pani profesor Teresie Grabowskiej
za życzliwość i pomoc okazaną w trakcie pisanie pracy,
za poświęcony mi czas, udzielone wskazówki oraz użyczone materiały.*

*Serdecznie dziękuję również
Panu doktorowi habilitowanemu Jerzemu Nawrockiemu
za uwagi i wskazówki dotyczące przeprowadzenia badań,
Pani doktor Oldze Polechońskiej
za pomoc w pracach terenowych i badaniach laboratoryjnych,
a także Panu Leszkowi Giro,
za wykonanie zdjęć SEM i przeprowadzenie analizy spektralnej.*

Spis treści

1. Wstęp.....	10
2. Lokalizacja obszaru badań	12
3. Budowa geologiczna obszaru badań (oprac. wg E. Stupnicka, 1997a).....	15
3.1 Utwory starsze - struktury paleozoiczne i mezozoiczne	15
3.2 Utwory młodsze - struktury trzeciorzędu i osady czwartorzędu.....	17
4. Podstawy fizyczne prowadzonych badań - parametry magnetyczne i ich charakter	20
4.1 Podatność magnetyczna.....	20
4.2 Namagnesowanie	26
4.3 Pętla histerezy magnetycznej.....	27
4.4 Pozostałość magnetyczna	28
5. Przyrządy wykorzystane w badaniach podatności magnetycznej i namagnesowania	29
5.1 Aparatura MS2 (firma Bartington), kappabridż (firma AGICO).....	29
5.2 Demagnetyzer, magneśnica, magnetometr rotacyjny (firma AGICO)	33
6. Wyniki kappametrycznych i geochemicznych badań gleb na terenie Krakowa	36
7. Pomiary podatności magnetycznej gleb w terenie.....	45
8. Pobieranie próbek gleb.....	58
9. Badania laboratoryjne	61
9.1 Podatność magnetyczna κ	61
9.2 Superparamagnetyki	65
9.3 Bezhistereзова pozostałość magnetyczna ARM.....	67
9.4 Izotermiczna pozostałość magnetyczna IRM.....	69
9.5 Krzywe termomagnetyczne	72
9.6 Skaningowy mikroskop elektronowy SEM.....	73
10. Podsumowanie	92
11. Wnioski	94
12. Literatura	95

1. Wstęp

Elektrociepłownia KRAKÓW znajdująca się na terenie Łęgu rozpoczęła swoją działalność w 1970 roku. Przez ostatnie lata stopniowo obniżała emisję zanieczyszczeń i obecnie spełnia obowiązujące normy prawne. Istotnym zagadnieniem stało się określenie wpływu emitowanych zanieczyszczeń na stan gleb w pobliżu Elektrociepłowni. Ich opad i akumulacja w przypowierzchniowej warstwie gleby stanowią zagrożenie dla zdrowia człowieka.

Celem pracy było przedstawienie wyników rekonesansowych badań podatności magnetycznej gleb w okolicy Elektrociepłowni.

Badania podatności magnetycznej oparte są na własnościach magnetycznych związków i minerałów zawartych w glebach. Wzrost podatności magnetycznej gleby związany jest ze wzrostem zawartości w niej cząstek czynnych magnetycznie.

Jednym z minerałów o silnych własnościach magnetycznych jest magnetyt (Fe_3O_4), który może być składnikiem pyłów lotnych emitowanych przez Elektrociepłownię. Badania przeprowadzone przez prof. Strzyszcza z zespołem (Z. Strzyszcz, 1993) wykazały, że w odpowiednich warunkach do sieci krystalograficznej magnetytu mogą zostać wprowadzone metale ciężkie, stąd wzrostowi podatności magnetycznej gleby może towarzyszyć wzrost zawartości metali ciężkich.

W ramach przedstawionej pracy wykonano badania w terenie i w laboratorium.

Pomiary podatności magnetycznej próbek gleb przeprowadzono m.in. w Pracowni Petrofizyki Katedry Geofizyki AGH (aparatura MS2). W laboratorium Państwowego Instytutu Geologicznego pomierzono takie parametry, jak: podatność magnetyczna (k_{app} i k_{br}), bezhisterezowa i termiczna pozostałość magnetyczna. Zbadano również zmiany podatności z temperaturą.

Dzięki uprzejmości pana Leszka Giro z PGI praca została wzbogacona zdjęciami SEM i wynikami analiz spektralnych.

Opis wyników badań poprzedzono charakterystyką parametrów magnetycznych.

2. Lokalizacja obszaru badań

Elektrociepłownia KRAKÓW znajduje się na wschód od centrum miasta, w Dzielnicy XIV Czyżyny, w pobliżu Nowej Huty.

Wysokie kominy (rys. 1) są charakterystycznymi obiektami panoramy miasta.

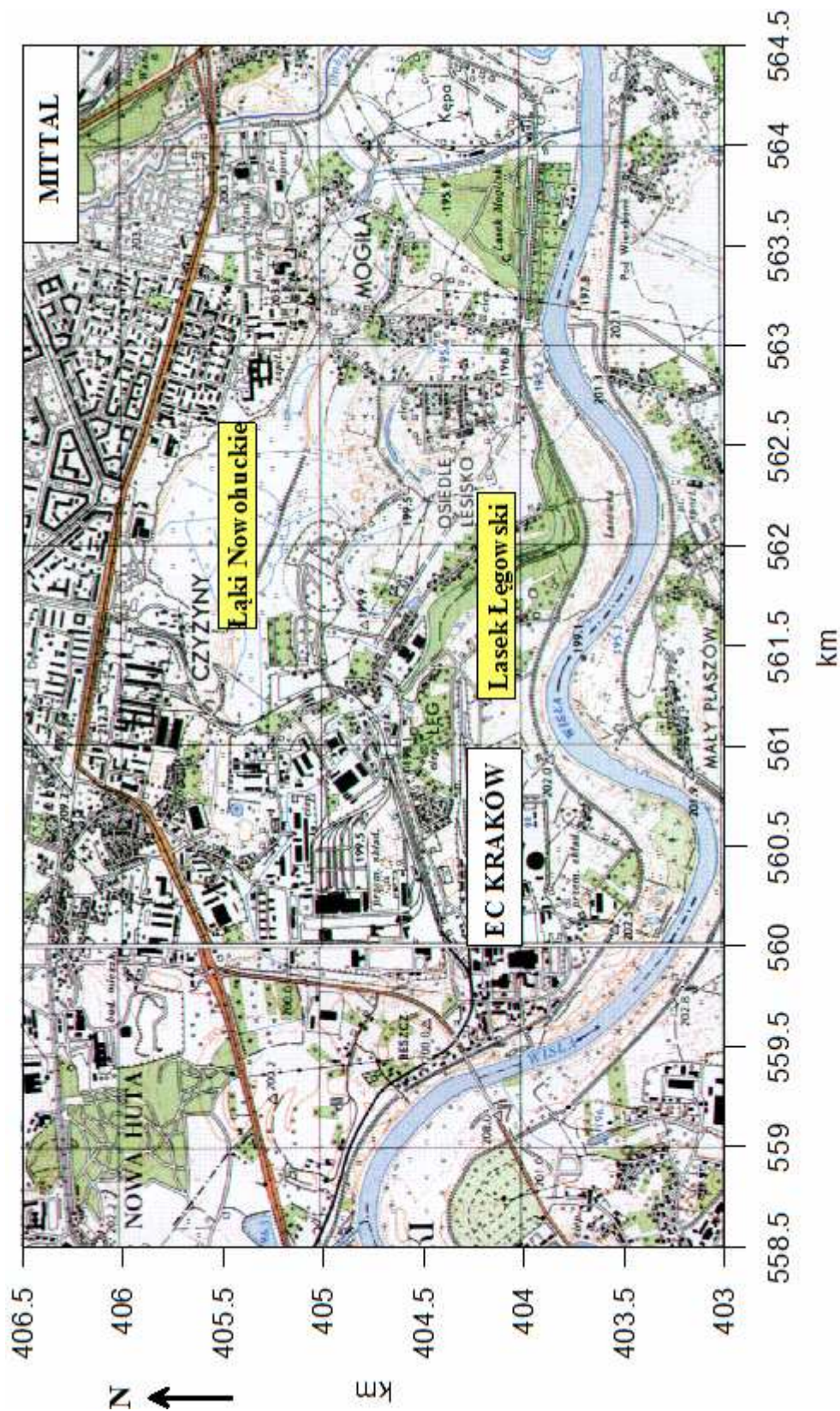
Rejon, w którym wykonano badania terenowe, przedstawiono na złożonych ze sobą dwóch mapach topograficznych Kraków i Kraków - Nowa Huta układu „1965”, w skali 1:25 000 (rys. 2).

Ze względu na położenie Elektrociepłowni na terenach częściowo zabudowanych, obszar badań został znacznie ograniczony. Szczególnie dotyczyło to terenów na zachód od Elektrociepłowni (w stronę centrum miasta). Na południu przeszkodę stanowiła rzeka Wisła.

Najkorzystniejsze warunki przeprowadzenia badań stwarzały tereny na wschód od Elektrociepłowni. Były one również istotne ze względu na przeważające w Krakowie wiatry z zachodu.



Rys. 1. Zdjęcie kominów EC KRAKÓW
– widok od południowego - wschodu (fot. A. Zagrodzka)



Rys. 2. Mapa topograficzna obszaru badań z zaznaczeniem lokalizacji EC KRAKÓW i Huty im. T. Sendzimira (MITTAL) oraz Lasku Łęgowskiego i Łąk Nowohuckich

Badania przeprowadzono: w rejonie dzielnicy Dąbie (wzdłuż Al. Pokoju), w Beszcu (przed wiślanym wałem), w Czyżynach (w pobliżu Elektrociepłowni) (rys. 3) oraz na dwóch obszarach znajdujących się pomiędzy Elektrociepłownią a Dzielnicą XVIII Nowa Huta (rys. 2). Pierwszy obszar obejmował teren zalesiony w Łęgu (Lasek Łęgowski), na wschód od Elektrociepłowni. Natomiast drugi obszar znajdował się na Łąkach Nowohuckich, na północny – wschód od Elektrociepłowni. Badania przeprowadzono tam na torfowisku (użytek ekologiczny miasta) i na nieużytkach rolnych.

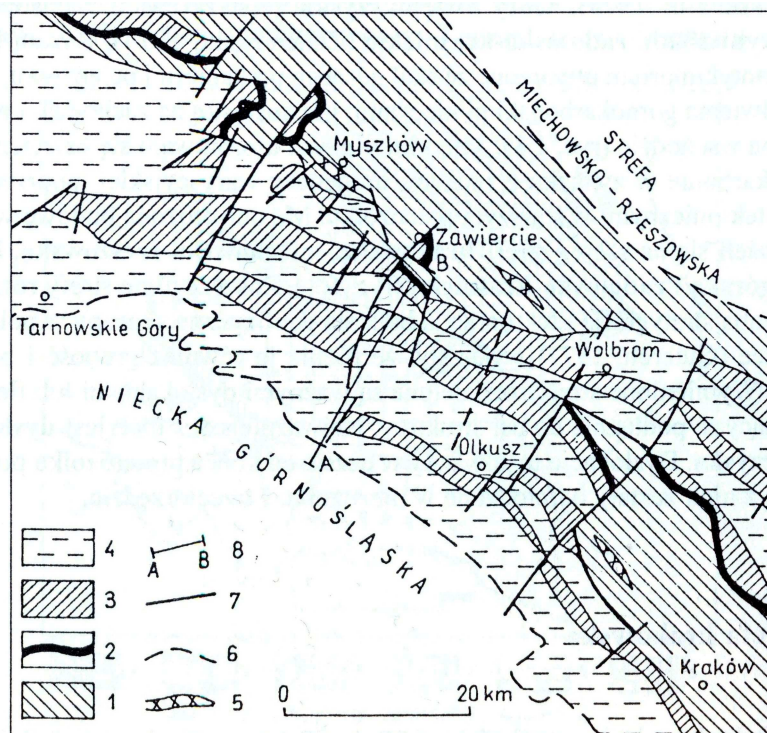


Rys. 3. Mapa administracyjna zachodniej części obszaru badań (skala 1:20 000)

3. Budowa geologiczna obszaru badań (oprac. wg E. Stupnicka, 1997a)

3.1 Utwory starsze - struktury paleozoiczne i mezozoiczne

Ruchy tektoniczne w starszym paleozoiku oraz ruchy tektoniczne późniejszej orogenezy waryscyjskiej spowodowały powstanie rozległego antyklinorium w południowej Polsce. Ostatecznie antyklinorium uformowało się po dolnym karbonie. Zbudowane jest ze skał górnego prekambriu i paleozoiku. Ze względu na złożoną budowę wewnętrzną antyklinorium podzielono na strefy, wśród których znajduje się strefa krakowska (rys. 4). Strefę tą budują skały od prekambriu po dolny namur (karbon górny).



Rys. 4. Mapa paleozoiku strefy krakowskiej

(wg Piekarskiego, 1983)

- 1 – starszy paleozoik, 2 – dewon dolny, 3 – dewon środkowy i górny,
4 – karbon dolny i namur, 5 – porfiry i granitoidy, 6 – granice strefy krakowskiej,
7 – uskoki, 8 – linia przekroju geologicznego

Na badanym obszarze występują struktury paleozoiczne utworzone ze skał starszego paleozoiku (kambr – sylur), w tym zwłaszcza ze skał kambru dolnego (E. Stupnicka, 1997b).

W profilu stratygraficznym strefy krakowskiej osady kambru reprezentowane są przez łupki ilasto – mułowcowe, piaskowce i łupki mułowcowo – iłowcowe.

W ordowiku i w sylurze powstawały na tym obszarze przede wszystkim skały węglanowe: wapienie, dolomity i margle. Badania geofizyki otworowej dostarczyły informacji o ich naprzemiennym występowaniu ze skałami detrytycznymi, takimi jak zlepieńce i szarogłazy.

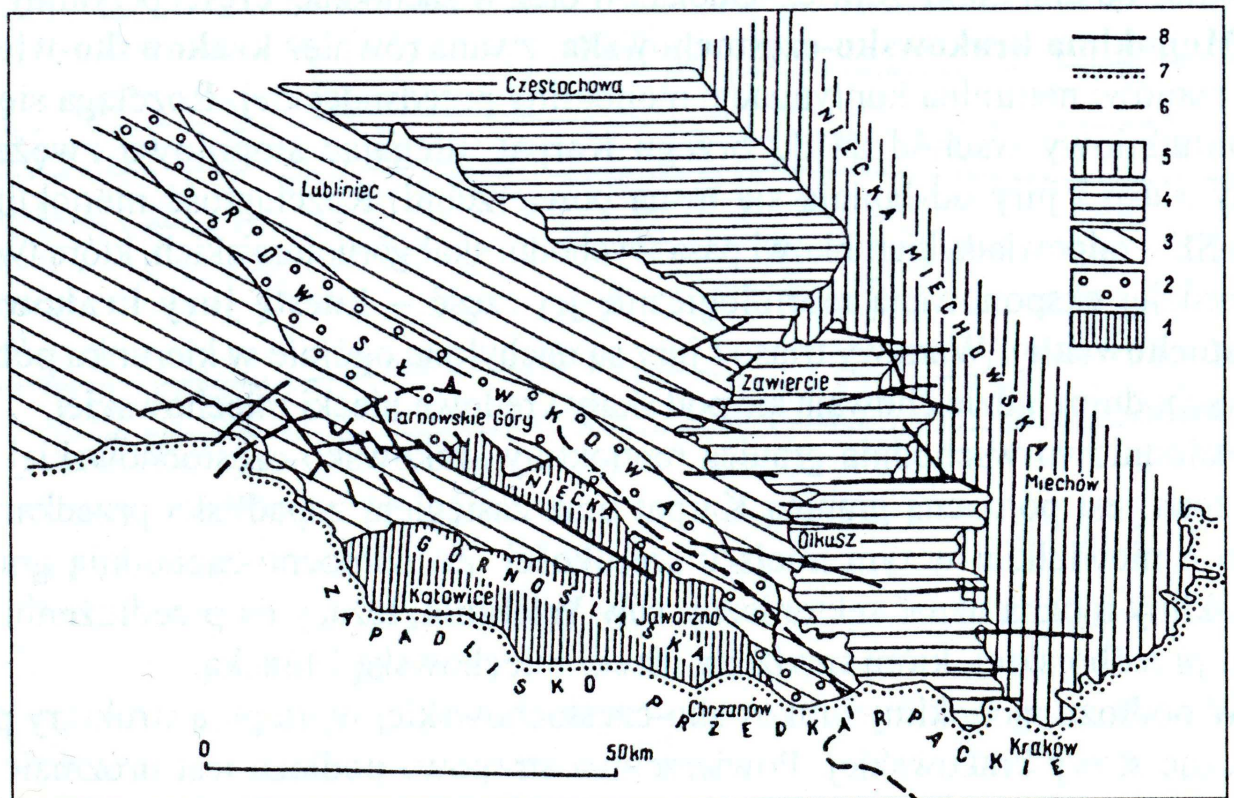
Łatwymi do zidentyfikowania utworami wykształconymi w górnym sylurze są łupki graptolitowe.

Całkowitą miąższość skał staropaleozoicznych szacuje się na kilka tysięcy metrów. Natomiast miąższość samych skał węglanowych na południowym wschodzie strefy krakowskiej (w okolicach Krakowa) ocenia się na prawie 650 metrów.

Skały serii krakowskiej są sfałdowane i częściowo zmetamorfizowane.

Z początkiem permu zaczął formować się basen środkowopolski. Istniał on do końca kredy. Osadziły się w nim utwory mezozoiczne, a miejscami utwory permskie. W ten sposób struktury paleozoiczne zostały przykryte osadami. Osady te utworzyły później na badanym obszarze monoklinę krakowsko – częstochowską. Struktura ta została przyjęta umownie, gdyż stanowi ona południowo – zachodnie skrzydło niecki miechowskiej.

W turonie (kredzie górnej) transgresja morska objęła okolice Krakowa. Osadziły się tutaj głównie osady piaszczyste, margliste i opoki (*Objaśnienia do mapy geologicznej Polski 1:200 000, Kraków*), będące wraz z gezami charakterystycznymi utworami kredowej serii sedimentacyjnej niecki miechowskiej (rys. 5).



Rys. 5. Monoklina krakowsko – częstochowska na tle jednostek przyległych
(wg Bukowego, 1974)

1 – karbon, 2 – molasa permska w rowie Sławkowa, 3 – trias, 4 – jura, 5 – kreda, 6 – granica niecki górnośląskiej, 7 – północny zasięg osadów mioceńskich zapadliska przedkarpackiego, 8 - uskoki

Utwory pokrywające obszar badań osadziły się nieco później, w kampanie (E. Stupnicka, 1997c).

3.2 Utwory młodsze - struktury trzeciorzędu i osady czwartorzędu

Kolejne ruchy tektoniczne na badanym obszarze miały miejsce w paleocenie w czasie fazy laramijskiej. W wyniku tych ruchów ostatecznie formowała się niecka miechowska, bardzo łagodnie nachylając w swoją stronę (w kierunku północno – wschodnim) warstwy triasu i jury. Monoklina krakowsko – częstochowska razem z monokliną wieluńską utworzyła monoklinę śląsko - krakowską.

Pokrywa osadowa platformy paleozoicznej utworzona jest ze skał permskich po trzeciorzędowe. Na południu Polski miała ona małą miąższość, przez co łatwo uległa erozji po ruchach fazy laramijskiej i po ruchach mioceńskich.

Mioceńskie ruchy tektoniczne w Karpatach spowodowały obniżenie południowej części niecki miechowskiej i przykrycie utworów górnej kredy osadami mioceńskimi zapadliska przedkarpackiego.

Utwory trzeciorzędowe (baden, miocen) reprezentowane są przez warstwy grabowieckie, skawińskie i wielickie (*Mapa geologiczna Polski 1:200 000, B – bez utworów czwartorzędowych, Kraków*). Warstwy grabowieckie utworzone są z iłów z przewarstwieniami drobnoziarnistych piaskowców wapnistych. Warstwy skawińskie to wapniste iły z przewarstwieniami piaskowców drobnoziarnistych, słabozwięzłych (*Objaśnienia do mapy geologicznej Polski 1:200 000, Tarnów*). Natomiast warstwy wielickie tworzą serię solną.

W osadach mioceńskich została wycięta szeroka rynna (około 8 km w okolicach Nowej Huty) o charakterze pradoliny (<http://www.krakow.pl/miasto/ekologia/?id=01.html>). Osadziły się w niej neoplejstocieńskie lessy piaszczyste i gliniaste (*Mapa geologiczna Polski 1:200 000, A - mapa utworów powierzchniowych, Tarnów i Kraków*). Następnie rozpoczął się proces sedymentacji rzecznej. Uformował się wówczas taras zalewowy (niższy) i nadzalewowy (wyższy) (*Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, Kraków*).

Mięszczość utworów czwartorzędowych jest mała (maksymalnie 30 - 40 metrów) (*Objaśnienia do mapy geologicznej Polski 1:200 000, Tarnów*).

Taras niższy (wieku holocen) stanowi podłoże Łąk Nowohuckich. Zbudowany jest z mułków, glin i piasków (madów rzecznych) (*Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, Kraków*), a miejscami również z żwirów (*Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, Niepołomice*). Według A. Zwolińskiej (<http://www.krakow.pl/miasto/ekologia/?id=01.html>) w czasie sedymentacji rzecznej osadziły się tu piaski i żwiry piaskowcowe, a na nie naniesione zostały piaski, mułki i ły piaszczyste.

Powierzchnia terenu na obszarze Łąk jest płaska.

Na północy występuje zabagnione torfowisko niskie związane z podmokłym dnem doliny rzeki Wisły (*Objaśnienia do mapy geologicznej Polski 1:200 000, Tarnów*).

Łąki są otoczone wysokimi skarpami od strony wschodniej, północnej i częściowo zachodniej.

Nieco odmienne utwory czwartorzędowe znajdują się na obszarze, do którego należy Park Lotników Polskich. Taras średni (*Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, Kraków*) utworzyły tam piaski i żwiry rzeczno-peryglacjalne plejstocenu (*Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, Kraków*).

Na niewielkim obszarze badań wyróżniono strefę osadzania się iłów i mułków starorzeczy (*Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, Kraków*).

Podłoże Lasku Łęgowskiego stanowi luźny piasek, nad którym zalega warstwa piasków z domieszką pyłów ilastych. Warstwą przypowierzchniową są ły pylaste i gliny pylaste.

Warstwowa budowa podłoża kształtowała się w wyniku powodzi, kiedy materiał rzeczny był nanoszony na rozległe obszary i osadzany. Proces ten powtarzał się do czasu wybudowania na początku XX wieku wałów przeciwpowodziowych (http://www.suder.nazwa.pl/nh/przewodnik_mogila_lasek_mogilski.html).

4. Podstawy fizyczne prowadzonych badań - parametry magnetyczne i ich charakter

Badania zostały przeprowadzone w celu określenia wpływu emitowanych pyłów na podatność magnetyczną gleb w okolicy Elektrociepłowni. W badaniach środowiska pomierzoną podatność magnetyczną objętościową, przelicza się na podatność magnetyczną masową. W ten sposób uwzględnione zostają różnice gęstości poszczególnych próbek gleby. Znajomość podatności magnetycznej pozwala na określenie zawartości w glebach minerałów magnetycznych, a także metali ciężkich groźnych dla środowiska naturalnego. Oprócz pomiarów podatności magnetycznej wykonuje się m.in. badania ARM (bezhisterezowa pozostałość magnetyczna), które dostarczają informacji o obecności w glebie jednodomenowych ziaren ferrimagnetycznych oraz badania IRM (izotermiczna pozostałość magnetyczna) często stosowane w celu odróżnienia ferrimagnetyków od ukośnych antyferromagnetyków (L. Kenneth et al., 1995).

4.1 Podatność magnetyczna

Podatność magnetyczna (*magnetic susceptibility*) jest jedną z podstawowych wielkości fizycznych opisujących własności magnetyczne materii.

Parametr ten określa zdolność ośrodka do magnesowania się pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego.

Podatność magnetyczna dla ośrodka izotropowego jest wielkością skalarną.

Odniesiona do jednostki objętości ośrodka nosi nazwę **podatności magnetycznej objętościowej** (κ) (*bulk susceptibility*).

Jest to stosunek namagnesowania indukcyjnego I_i ośrodka o słabych własnościach magnetycznych do natężenia pola magnetycznego H ,

wywołującego to namagnesowanie: $\kappa = \frac{I_i}{H}$,

gdzie: I_i – wartość namagnesowania indukcyjnego [A/m],

H – natężenie pola magnetycznego [A/m].

Objętościowa podatność magnetyczna jest wielkością bezwymiarową:

$$\kappa_{SI} = \kappa_{cgsM} \cdot 4\pi.$$

Jest ona ściśle związana z przenikalnością magnetyczną:

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

gdzie μ_r jest przenikalnością magnetyczną względną: $\mu_r = \frac{\mu_a}{\mu_0}$

(μ_a - przenikalność magnetyczna absolutna,

μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni równa $4\pi \cdot 10^{-7}$ [Henra/m]).

W badaniach środowiska bardzo często oblicza się **podatność magnetyczną właściwą (χ)** (*specific susceptibility*), zwaną także **podatnością magnetyczną masową** (*mass susceptibility*).

Jest to podatność magnetyczna odniesiona do jednostki masy ośrodka:

$$\chi = \frac{\kappa}{\rho},$$

gdzie: κ – podatność magnetyczna objętościowa [-],

ρ – gęstość objętościowa próbki [kg/m³].

Masową podatność magnetyczną wyraża się w [m³/kg].

Ważną rolę w badaniach środowiskowych odgrywa tzw. zależność częstotliwościowa podatności magnetycznej zwana również **współczynnikiem częstotliwościowym - f_d** . Jego wielkość określa procentowy spadek podatności magnetycznej przy pomiarze tej podatności w różnych częstotliwościach.

Współczynnik f_d wyraża się następującym wzorem:

$$f_d = \frac{\kappa_{lf} - \kappa_{hf}}{\kappa_{lf}} \cdot 100\%,$$

gdzie: κ_{lf} – podatność magnetyczna objętościowa mierzona w niskiej częstotliwości,

κ_{hf} – podatność magnetyczna objętościowa mierzona w wysokiej częstotliwości.

Częstotliwościowa zależność podatności magnetycznej pozwala określić pochodzenie cząstek magnetycznych. Jeśli f_d jest większy od 4%, oznacza to obecność w glebie **superparamagnetyków** (ziaren pochodzenia naturalnego). Poniżej 4% przyjmuje się, że cząstki magnetyczne są pochodzenia antropogenicznego.

Ze względu na wartość i znak podatności magnetycznej wyróżnia się: diamagnetyki ($\kappa < 0$), paramagnetyki ($\kappa > 0$) i ferromagnetyki ($\kappa \gg 0$).

Diamagnetyki są to ciała, których atomy mają wypełnione powłoki elektronowe. Ich atomy nie posiadają własnych momentów magnetycznych. Magnesują się bardzo słabo, przeciwnie do przyłożonego pola magnetycznego, stąd podatność magnetyczna diamagnetyków jest ujemna.

Diamagnetykami są metale, takie jak: Cu^+ , Ti, Pb, Bi, Cd, Zn, Hg, ...

Minerałami skałotwórczymi wykazującymi diamagnetyzm są m.in.: kwarc, ortoklaz, kalcyt, anhydryt, gips i halit.

Podatność magnetyczna diamagnetyków nie zależy od wielkości przyłożonego pola magnetycznego i słabo zależy od temperatury.

W paramagnetykach momenty magnetyczne atomów lub cząsteczek są nieskompensowane. Ich chaotyczne ułożenie jest wynikiem ruchów cieplnych (wpływu temperatury).

Obecność pola magnetycznego powoduje porządkowanie się elementarnych momentów magnetycznych. Całkowite uporządkowanie następuje w **polu magnetycznym nasycenia**. Przy braku pola magnesującego następuje ponowna dezorientacja momentów.

Paramagnetyki bardzo licznie występują w przyrodzie. Są to gazy O_2 , O, szereg metali, np. litowce, berylówce, lantanowce (ich tlenki i siarczki), Cu^{2+} , Al, Cr, Mo, Mn, W, Pt, Pd, a także sole pierwiastków ziem rzadkich, sole Fe, Co i Ni. Najważniejszymi minerałami skałotwórczymi o własnościach paramagnetycznych są: biotyt, ortopiroksen, klinopiroksen, amfibol, oliwin i granat.

Podatność magnetyczna paramagnetyków jest mała ($10^{-6} - 10^{-3}$ SI) i zależy od temperatury (wyjątek stanowią potasowce i wapniowce). Zgodnie z **prawem Curie** podatność magnetyczna jest odwrotnie proporcjonalna do

temperatury bezwzględnej:

$$\kappa_{mol} = \frac{C}{T},$$

gdzie: κ_{mol} – podatność magnetyczna molowa,

C – stała Curie charakteryzująca każdy paramagnetyk,

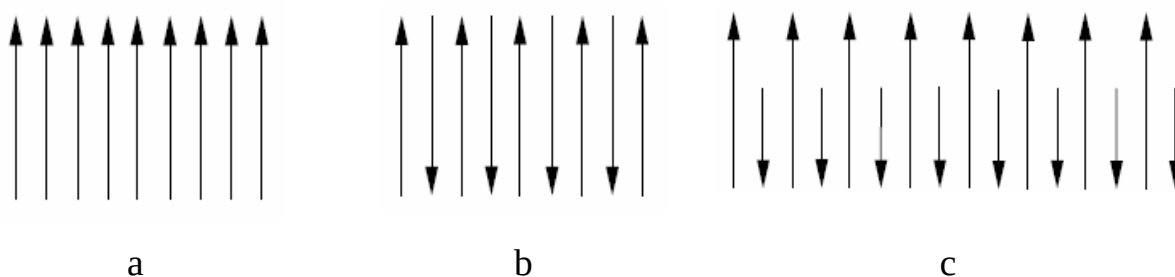
T – temperatura bezwzględna.

Paramagnetykami mogą stać się ferromagnetyki (powyżej temperatury Curie) i antyferromagnetyki (powyżej temperatury Néela).

W ferromagnetykach w wyniku nakładania się niezapełnionych powłok elektronowych, powstają między nimi siły wymiany kwantowo-mechanicznej. Energia odpowiadająca tym siłom wyrażana jest przez **całkę wymiany**. Własności magnetyczne ferromagnetyków są uwarunkowane oddziaływaniem między elektronami, które ustawia momenty magnetyczne równoległe do siebie (M. Plewa i S. Plewa, 1992).

Wyróżnia się:

- uporządkowanie równoległe istniejące w **ferromagnetykach sensu stricto** (rys. 6a), np.: Fe, Co, Ni, Gd,
- uporządkowanie antyrównoległe w **antyferromagnetykach** (rys. 6b), np. Cr i α -Mn
- uporządkowanie złożone wykazywane przez **ferrimagnetyki** (rys. 6c) (są to złożone niemetaliczne związki - tlenki i siarczki grupy metali przejściowych: żelaza, pierwiastków ziem rzadkich, aktynowców) (T. Grabowska, *Geofizyka środowiska*).



Rys. 6. Uporządkowanie momentów magnetycznych w domenie: ferromagnetyka *sensu stricto* (a), antyferromagnetyka (b), ferrimagnetyka (c)

Wśród minerałów magnetycznych najbardziej znane są ferrimagnetyki. Zalicza się do nich przede wszystkim magnetyt ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) i maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) oraz niektóre siarczki żelaza o wzorze ogólnym Fe_{1-x}S ($0 < x < 1/8$). W przyrodzie rozpowszechniony jest również hematyt $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, oraz getyt

α -FeOOH, które są antyferromagnetykami z pasożytniczym ferromagnetyzmem (Merrill et. al., 1998). Typowymi antyferromagnetykami są: ilmenit (FeTiO_3), dla którego temperatura Néela wynosi -233°C (w warunkach normalnych jest paramagnetykiem), ulvöspinel (Fe_2TiO_4) o temperaturze Néela -153°C , pirotyt heksagonalny (Fe_{1-x}S), zaś antyferromagnetykiem ukośnym (nachylenie momentów magnetycznych podsieci) jest hematyt (α - Fe_2O_3).

Podatność magnetyczna ferromagnetyków osiąga wartości powyżej 10 SI. Jest funkcją namagnesowania próbki i wcześniejszego oddziaływania na nią pola magnetycznego (bardzo silnie zależy od natężenia pola magnetycznego). W temperaturze większej od temperatury Curie (w **punkcie Curie**) uporządkowanie ferromagnetyczne zanika i ferromagnetyk przechodzi w stan paramagnetyczny, a w pewnych przypadkach (np. metali ziem rzadkich), w stan antyferromagnetyczny.

Podatność magnetyczna antyferromagnetyków praktycznie nie zależy od natężenia pola magnetycznego. Waha się od 10^{-6} do 10^{-3} SI.

W pobliżu temperatury Néela następuje gwałtowny wzrost podatności magnetycznej, a następnie po jej przekroczeniu silny spadek.

Powyżej temperatury Néela antyferromagnetyki przechodzą w stan paramagnetyczny, a ich podatność magnetyczna zmienia się zgodnie z prawem

Curie-Weissa:

$$\kappa = \frac{C}{T + \theta},$$

gdzie: C- stała Curie, θ – stała charakterystyczna dla danego ciała ($\theta > T_N$).

Ferrimagnetyki posiadają znacznie niższą podatność magnetyczną w stosunku do podatności magnetycznej ferromagnetyków.

W momencie osiągnięcia temperatury Néela ferrimagnetyki przechodzą w stan paramagnetyczny.

4.2 Namagnesowanie

Obok podatności magnetycznej bardzo ważnym parametrem jest namagnesowanie. Materia umieszczona w polu magnetycznym może ulec namagnesowaniu (*magnetization*). W wyniku namagnesowania materiał sam wytwarza pole magnetyczne, przez co stwierdza się, że namagnesowanie charakteryzuje zdolność ciała do tworzenia własnego pola magnetycznego.

Wielkość namagnesowania zależy przede wszystkim od wielkości zewnętrznego pola magnetycznego i od struktury wewnętrznej materii. Namagnesowanie jest wielkością wektorową.

Dla ciał o namagnesowaniu niejednorodnym namagnesowanie określa stan magnetyczny ciała w każdym jego punkcie:

$$I = \frac{dM}{dV} .$$

Dla ciał o namagnesowaniu jednorodnym, namagnesowanie jest to moment magnetyczny jednostki objętości:

$$I = \frac{M}{V} .$$

Namagnesowanie (objętościowe) wyraża się w jednostkach natężenia pola magnetycznego [A/m].

Jeżeli materiał namagnesuje się pod wpływem przyłożonego pola, to będzie to **namagnesowanie indukcyjne**. Namagnesowanie indukcyjne jest powiązane z natężeniem pola magnetycznego H i podatnością magnetyczną materii κ :

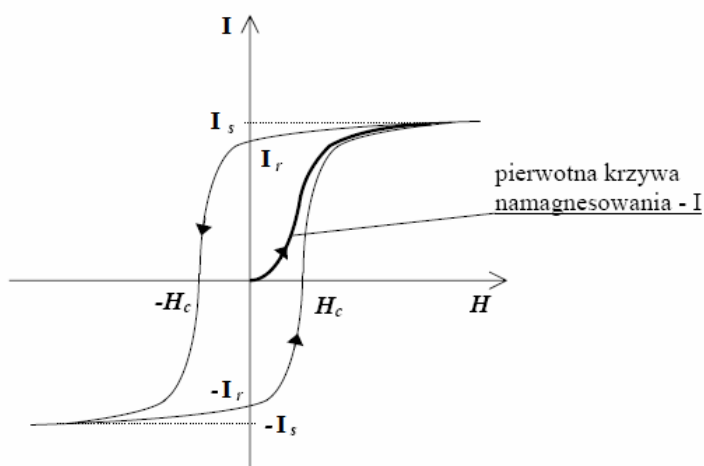
$$I_i = \kappa \cdot H .$$

Dla ciał o słabych i średnich własnościach magnetycznych kierunek namagnesowania indukcyjnego jest zgodny z kierunkiem pola magnesującego. Po usunięciu pola magnesującego namagnesowanie indukcyjne zanika.

Magnetyt ulega całkowitemu namagnesowaniu w polu rzędu 0,3 [T], natomiast hematyt i getyt w polu większym od 2,5 [T]. Własność ta pozwala na odróżnienie ferrimagnetyków od ukośnych antyferromagnetyków (L. Kenneth et al., 1995).

4.3 Pętla histerezy magnetycznej

Wykres zależności namagnesowania ferromagnetyka od natężenia pola magnesującego nazywa się pętlą histerezy magnetycznej (rys. 7).



Rys.7. Pętla histerezy magnetycznej

I_s - namagnesowanie nasycenia – maksymalna wartość namagnesowania próbki,

I_r - namagnesowanie szczątkowe (pozostałość magnetyczna) – namagnesowanie,

które pozostało po usunięciu zewnętrznego pola magnetycznego,

H_c - koercja magnetyczna – wartość pola magnetycznego potrzebnego do rozmagnesowania próbki.

Kształt krzywej zależy między innymi od własności magnetycznych próbki. Wyróżnia się **materiały magnetycznie twarde** charakteryzujące się szeroką pętlą histerezy i **materiały magnetycznie miękkie** mające wąską pętlę histerezy.

4.4 Pozostałość magnetyczna

W badaniach środowiska przeprowadza się również pomiary różnych typów pozostałości magnetycznej, w celu rozpoznania rodzajów minerałów magnetycznych występujących w glebie.

W badaniach środowiska najczęściej dokonuje się pomiarów pozostałości idealnej, zwanej także pozostałością magnetyczną bezhisterezową i pozostałości izotermicznej.

Idealna (bezhisterezowa) pozostałość magnetyczna

*(Anhysteretic Remanent Magnetization **ARM**)*

jest to pozostałość magnetyczna próbki powstająca w wyniku równoczesnego działania na próbkę stałego pola magnetycznego i intensywnego, zmiennego pola magnetycznego.

Izotermiczna pozostałość magnetyczna

*(Isothermal Remanent Magnetization **IRM**)*

jest to pozostałość magnetyczna próbki powstała w stałej temperaturze, pod wpływem krótkotrwałego działania stałego pola magnetycznego (maksymalne natężenie pola magnesującego nie osiągnęło wartości wywołującej stan nasycenia magnetycznego próbki).

5. Przyrządy wykorzystane w badaniach podatności magnetycznej i namagnesowania

Badania wykonano przy użyciu poniżej opisanych przyrządów.

5.1 Aparatura MS2 (firmy Bartington), kappabridż (firmy AGICO)

Do pomiarów podatności magnetycznej używa się przyrządów zasilanych prądem zmiennym, składających się z cewek indukcyjnych, lub z cewek wraz z obwodami mostkowymi.

Zasada działania polega na pomiarze zmiany indukcyjności cewki, spowodowanej oddziaływaniem próbki na cewkę. Ważną rolę odgrywa tu przenikalność magnetyczna względna próbki, która związana jest bezpośrednio z charakterystyką przepływających przez cewkę prądów zmiennych.

Pomiary podatności magnetycznej wykonano aparaturą MS2 i przyrządem zwanym potocznie kappabridżem. W obu typach przyrządów elementem pomiarowym jest cewka indukcyjna zasilana prądem zmiennym o częstotliwości rzędu kilkuset lub kilku tysięcy Hz.

Aparatura MS2 jest produkcji angielskiej firmy Bartington.

Stosuje się ją do pomiaru objętościowej podatności magnetycznej w warunkach laboratoryjnych, jak również „in situ”. Zakres pomiaru wynosi od 1 do $9\,999 \cdot 10^{-5}$ [SI]. W celu obliczenia podatności masowej, którą wyraża się w jednostkach rzędu 10^{-8} [m³/kg], należy uprzednio zważyć próbkę gleby przy pomocy wagi laboratoryjnej, a następnie znając objętość próbki, obliczyć jej gęstość.

Miernik MS2 ma czułość $2 \cdot 10^{-6}$ [SI] i może być podłączony do jednego z czterech typów czujników.

Podstawowym czujnikiem do pomiarów podatności magnetycznej w laboratorium jest czujnik MS2B (rys. 8). Służy on do pomiarów objętościowej podatności magnetycznej próbek gleb, które umieszcza się w plastikowych pojemnikach w kształcie walca o objętości 10cm³ lub sześcianu o objętości 7cm³.

Czujnik umożliwia pomiar podatności przy dwóch częstotliwościach $0.465 \text{ kHz} \pm 1\%$ i $4.65 \text{ kHz} \pm 1\%$, co pozwala na obliczenie częstotliwościowej zależności podatności magnetycznej.

Pomiar można wykonywać na dwóch zakresach dokładności: 1 i 0.1 [10^{-5} SI].

Maksymalna rozdzielczość czujnika wynosi $0.05 \cdot 10^{-5}$ [SI].

Wyniki pomiarów mogą być przedstawiane w jednostkach SI lub CGS.



Rys. 8. Czujnik MS2B i jednostka pomiarowa MS2

W terenie badania podatności magnetycznej wykonuje się między innymi czujnikiem MS2D (rys. 9). Ma on kształt pętli o średnicy 185mm. Stosuje się go do pomiarów podatności magnetycznej gleb, skał, osadów rzecznych i oceny zawartości ferrimagnetycznych minerałów do głębokości ok. 0,1m.



Rys. 9. Czujnik MS2D wykorzystywany w badaniach terenowych

Aparaturę MS2 wykorzystuje się również w badaniach termomagnetycznych. Do przeprowadzenia pomiarów stosuje się zestaw składający się z: miernika, pieca, czujnika MS2W i jednostki zasilającej (rys. 10).

Próbkę ogrzewa się do temperatury ponad 800⁰C, a następnie zostawia do ochłodzenia przy wyłączonym ogrzewaniu.

Przy użyciu programu GeoLabsoft otrzymuje się krzywą zmian podatności magnetycznej z temperaturą. Na podstawie jej przebiegu możliwe jest wykrycie zmian mineralogicznych, które zachodziły w próbce gleby w wyniku zmian temperatury.



Rys. 10. Jednostka zasilająca MS2WFP, piec MS2WF i czujnik MS2W

Innym przyrządem do pomiaru podatności magnetycznej jest **kappabridż** (**kappabridge**). W urządzeniu wykorzystuje się oprócz cewki samorównowążący się obwód mostkowy zasilany prądem zmiennym.

Przy pomocy specjalnych uchwytów próbkę wprowadza się do cewki pomiarowej, stanowiącej jedno z ramion mostka. Obecność próbki w cewce powoduje zmianę jej indukcyjności. Zmiana indukcyjności cewki spowodowana jest przenikalnością magnetyczną próbki. Stąd SEM indukcji na wyjściu jest konwertowana do wartości podatności magnetycznej próbki.

Czułość przyrządu wynosi 10^{-6} [SI].

Badania wykonano przy użyciu wersji statycznej kappabridża KLY-2 czeskiej firmy AGICO z Brna (rys. 11).



Rys. 11. Zdjęcie mostka (fot. A. Zagrodzka)

5.2 Demagnetyzer, magneśnica, magnetometr rotacyjny (firmy AGICO)

Demagnetyzer (rys. 12) jest urządzeniem służącym do rozmagnesowywania próbek polem zmiennym.

Stosuje się go w badaniach bezhisterezowej pozostałości magnetycznej ARM.

Przed rozpoczęciem pomiarów ustawia się wartości pola stałego i pola zmiennego (wartość maksymalną i minimalną).

Próbkę wkłada się do tuby i zatyka tłoczkiem, a następnie umieszcza się w urządzeniu pomiarowym.

Demagnetyzer najpierw wytwarza pole stałe, a następnie pole zmienne, o malejącej amplitudzie, powodujące rozmagnesowanie próbki.



Rys. 12. Zdjęcie demagnetyzera
(fot. A. Zagrodzka)

Magnetyzer pulsacyjny potocznie zwany **magneśnicą** (rys. 13) stosuje się do badania izotermicznej pozostałości magnetycznej IRM.

Próbkę wkłada się do specjalnego uchwytu i umieszcza w urządzeniu pomiarowym.

Proces namagnesowywania próbki polega na działaniu na nią impulsowego pola magnetycznego o zadanej wcześniej bardzo dużej wielkości.

Kolejne namagnesowywania polegają na zwiększaniu wielkości pola magnetycznego.

Maksymalna wartość pola wynosi 3 Tesle.



Rys. 13. Zdjęcie magnetyzera pulsacyjnego (fot. A. Zagrodzka)

Po każdym rozmagnesowywaniu i namagnesowywaniu mierzy się wielkość namagnesowania szczątkowego próbki przy pomocy **magnetometru rotacyjnego (*spinner magnetometer*)**.

Pomiary bezhisterezowej pozostałości magnetycznej ARM wykonano przy pomocy magnetometru JR-6A (rys. 14).

Natomiast pomiary izotermicznej pozostałości magnetycznej IRM wykonano magnetometrem JR-5.

Zasada działania magnetometrów rotacyjnych polega na pomiarze zmian strumienia magnetycznego wytworzonego w wyniku przesuwania próbki w obwodzie elektrycznym.

W magnetometrach rotacyjnych Jelinka (JR) próbka obracana jest z dużą prędkością (ok. 90 obrotów/s) między dwiema cewkami. Wytwarzany wówczas niewielki prąd jest wykrywany, wzmacniany i mierzony.

W ten sposób otrzymuje się dwie składowe namagnesowania szczątkowego prostopadłe do osi obrotu próbki (M. Westphal, 1993).

W magnetometrze JR-5 górny zakres pomiaru to 1 600 A/m, natomiast w magnetometrze JR-6 12 500 A/m.

Czułość magnetometru JR-5 wynosi $2,4 \times 10^{-6}$ A/m, a JR-6 $2,0 \times 10^{-6}$ A/m.



Rys. 14. Zdjęcie magnetometru rotacyjnego JR-6A (fot. A. Zagrodzka)

6. Wyniki kappametrycznych i geochemicznych badań gleb na terenie Krakowa

W 2002 roku na podstawie pomiarów podatności magnetycznej próbek gleb pobranych w siatce 2 na 2 km i 5 na 5 km, skonstruowano mapę podatności magnetycznej gleb całej Polski. Podwyższoną podatność magnetyczną posiadały gleby z okolic dużych miast, a w szczególności z Krakowa.

Dotychczasowe badania (m.in. Z. Strzyszczyński, 1993) wykazały, że cząstki magnetyczne zwykle współwystępują z metalami ciężkimi. Stąd na tym samym obszarze można porównywać wyniki badań geochemicznych i kappametrycznych. Powinny być one zbliżone, tzn. wskazywać strefy o wysokiej zawartości w glebach cząstek magnetycznych i cząstek metali ciężkich.

Pomiary geochemiczne koncentracji poszczególnych pierwiastków w glebach w przeciwieństwie do pomiarów podatności są pracochłonne. Z tego względu w badaniach geochemicznych liczba próbek przypadających na jednostkę powierzchni jest niewielka.

Badania geochemiczne gleb na terenie Krakowa przeprowadzono w latach 90-tych (J. Lis i A. Pasieczna, 1995, A. Pasieczna, 2003).

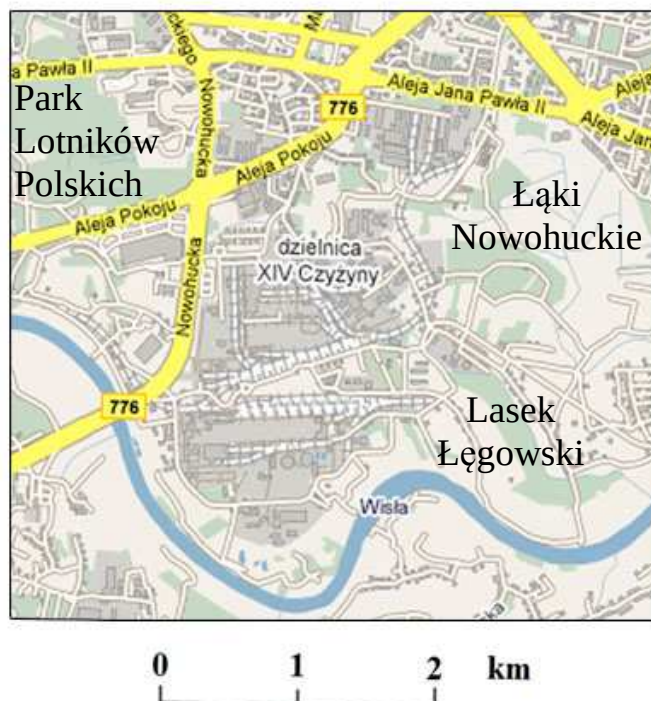
W tym celu założono dwie sieci opróbowania różniące się gęstością.

W rzadszej sieci dokonywano pomiarów geochemicznych gleb pobranych z dwóch poziomów 0 – 0,2 m i 0,4 – 0,6 m.

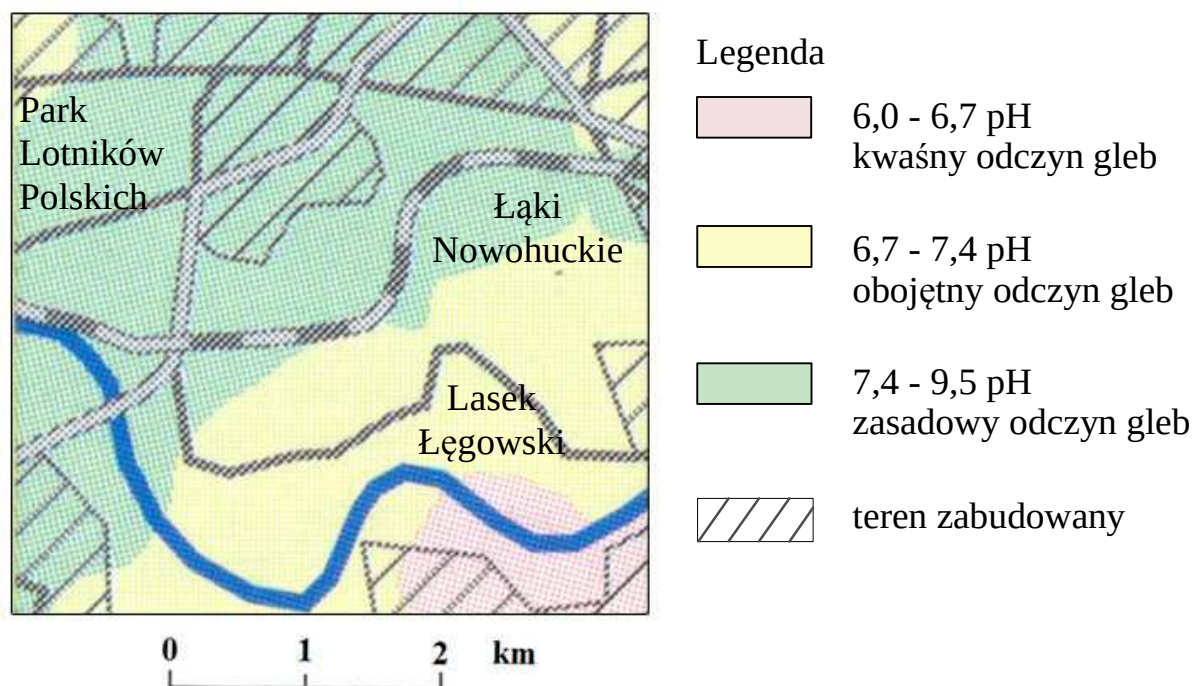
W drugiej sieci, przy gęstości opróbowania 1 próbka / 1 km², badaniami objęto tylko gleby występujące na powierzchni.

Poniżej przedstawiono wyniki badań, próbek pochodzących z gęstej sieci opróbowania, w postaci fragmentów monopierwiastkowych map geochemicznych (A. Pasieczna, 2003).

Na rys. 15 zamieszczono mapę administracyjną, której zasięg powierzchniowy odpowiada poniżej przedstawionym mapom geochemicznym.



Rys. 15. Mapa administracyjna obszaru badań

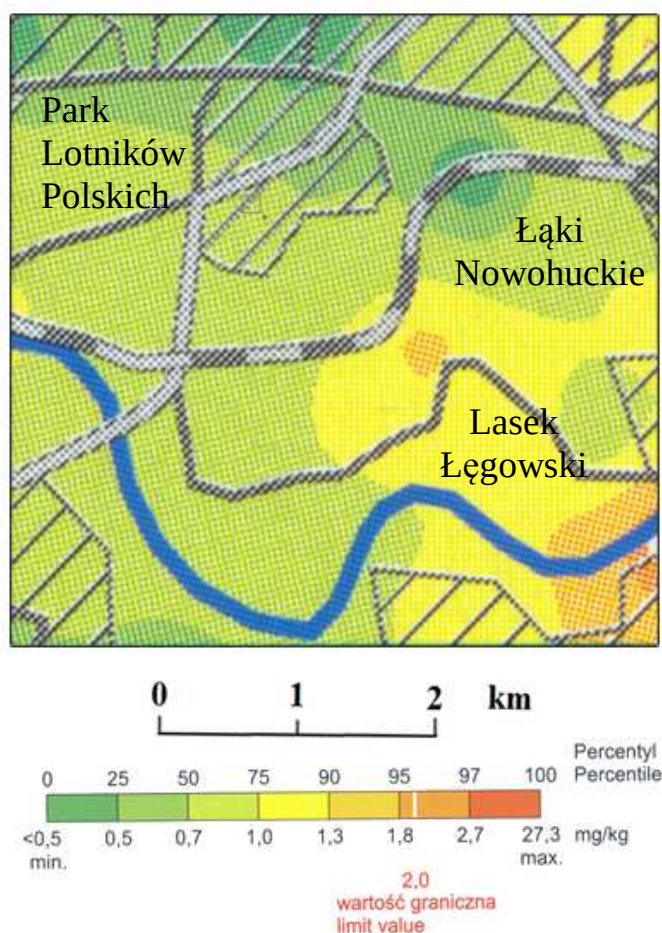


Rys. 16. Mapa izolinii pH gleb
(wg A. Pasieczna, 2003)

Badania geochemiczne wykazały alkaliczny i obojętny odczyn gleb (rys. 16). Odczyn zasadowy mają gleby występujące na obszarze Parku Lotników Polskich ($> 7,4$ pH). Natomiast gleby o odczynie obojętnym ($6,7 - 7,4$ pH) stwierdzono na terenie Elektrociepłowni i na wschód od niej wzdłuż koryta Wisły.

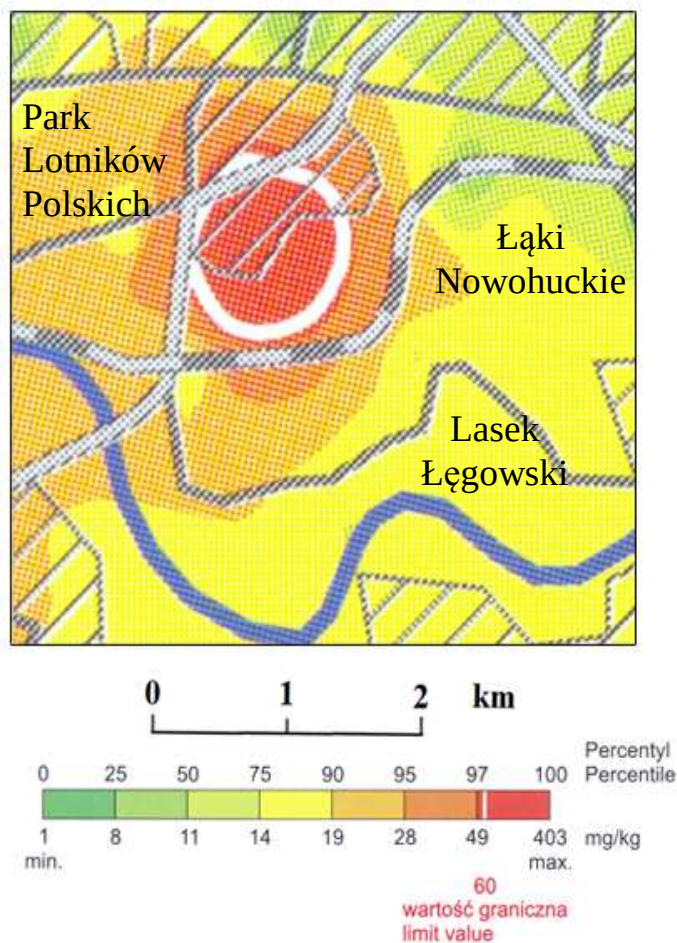
Jak wykazały analizy geochemiczne (J. Lis i A. Pasieczna, 1995, A. Pasieczna, 2003) w glebach omawianego obszaru zawarte są metale ciężkie, przede wszystkim miedź i ołów, a rzadziej cynk i kadm. Przeprowadzone badania nie wykazały podwyższonych zawartości rtęci.

Największe zawartości kadmu (1 – 1,3 mg/kg) stwierdzono w glebach Lasku Łęgowskiego i częściowo na Łąkach Nowohuckich (rys. 17). Nie przekraczają one jednak wartości granicznej (2 mg/kg).



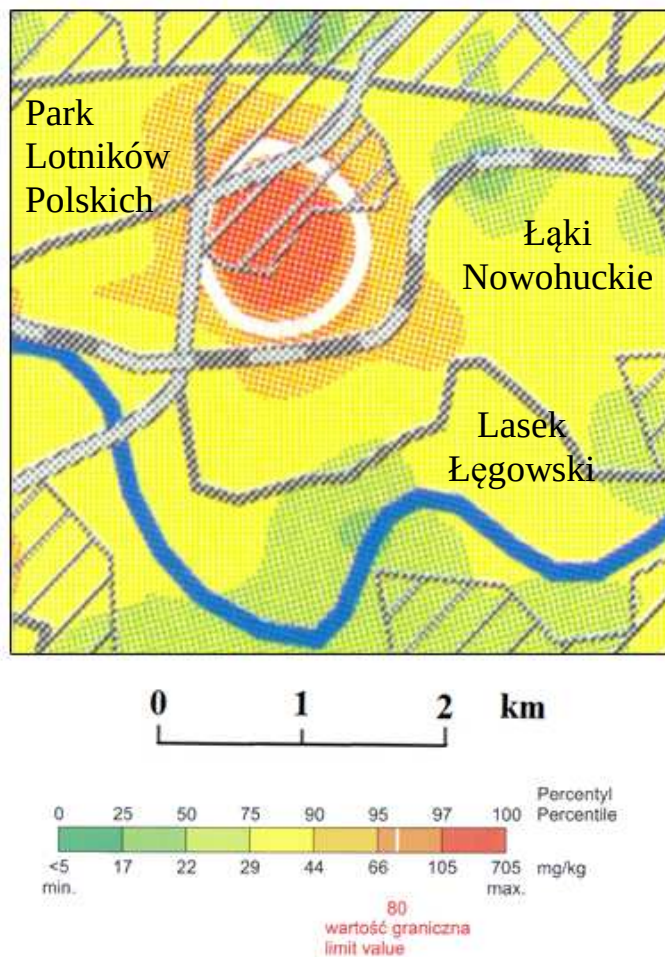
Rys. 17. Mapa zawartości kadmu w glebach
(wg A. Pasieczna, 2003)

Na północ od Elektrociepłowni, na terenie zabudowanym dzielnicy Czyżyny występują bardzo wysokie zawartości miedzi w glebie (~ 164 mg/kg). W obszarze tym na mapie (rys. 18) zaznacza się anomalia izometryczna wskazująca na wysoką koncentrację miedzi (19 – 28 mg/kg). Jak wynika z mapy obszar o podwyższonej zawartości miedzi kontynuuje się na zachód, w kierunku centrum miasta.



Rys. 18. Mapa zawartości miedzi w glebach
(wg A. Pasieczna, 2003)

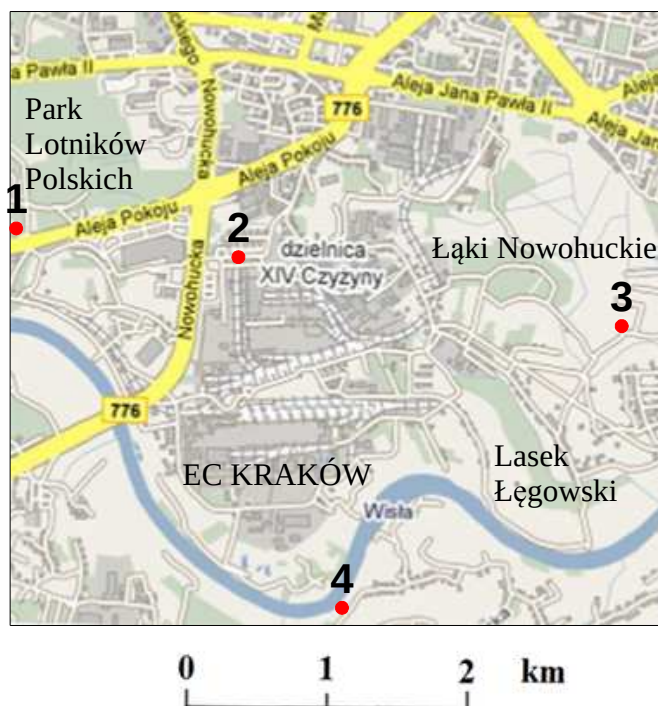
W tym samym obszarze stwierdzono wysoką koncentrację ołowiu w glebach (≥ 300 mg/kg). Tutaj również zaznacza się anomalia izometryczna o średnicy około 1 km (rys. 19). Nie stwierdzono kontynuacji tej anomalii w kierunku centrum Krakowa.



Rys. 19. Mapa zawartości ołowiu w glebach
(wg A. Pasieczna, 2003)

Bardzo wysokie koncentracje ołowiu i cynku otrzymano w jednym z punktów opróbowania rzadkiego na południe od Elektrociepłowni (punkt 4 na rys. 20).

Koncentracja ołowiu w glebach powierzchniowych (0 – 0,2 m) wynosiła w tym miejscu 251 mg/kg, a cynku 331 mg/kg. Na większej głębokości (0,4 – 0,6 m) otrzymano wartości znacznie mniejsze: 23 mg/kg ołowiu i 82 mg/kg cynku (tab. 1).

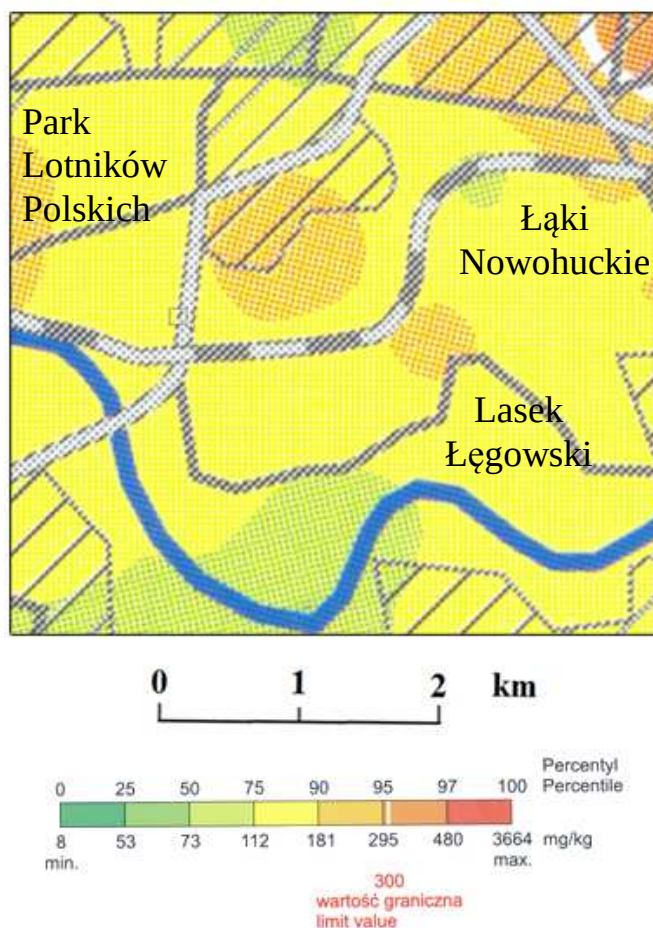


Rys. 20. Mapa administracyjna obszaru badań z zaznaczeniem miejsc poboru próbek (1 - 4)

Miejsce pobrania próbki	Pb [mg/kg]		Zn [mg/kg]	
	0 – 0,2 [m]	0,4 – 0,6 [m]	0 – 0,2 [m]	0,4 – 0,6 [m]
1	97	190	285	334
2	77	54	331	222
3	22	21	90	79
4	251	23	331	82

Tab. 1. Zawartości ołowiu i cynku w glebach w okolicy Elektrociepłowni (miejsca poboru próbek na rys. 20) (wg J. Lis i A. Pasieczna, 1995)

Przeprowadzone na tym obszarze badania geochemiczne gleb w gęstszej sieci opróbowania wykazały, że koncentracja cynku w glebach na południe od Elektrociepłowni jest mała (rys. 21). Wysoka zawartość cynku (331 mg/kg) w tym rejonie zaobserwowana podczas wcześniejszych badań (punkt nr 4 na rys. 20) nie jest zatem wartością reprezentatywną dla tego terenu.



Rys. 21. Mapa zawartości cynku w glebach
(wg A. Pasieczna, 2003)

Badania geochemiczne próbek gleb z rejonu Elektrociepłowni nie wykazały podwyższonych zawartości rtęci.

Zawartość metali ciężkich w glebie oraz zmiany jej podatności magnetycznej pozostają w ścisłym związku z wielkością emisji pyłów przemysłowych i ich depozycją w glebie (m.in. Z. Strzyszczyński, 1993).

Monitoring jakości powietrza prowadzony jest przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska. W Krakowie istnieją trzy stacje monitoringu jakości powietrza. Jedną z nich znajduje się na ulicy Bulwarowej w Nowej Hucie – blisko obszaru, na którym przeprowadzono badania – na zachód od Huty im. T. Sendzimira. Mierzy się tam stężenia określonych substancji w powietrzu.

Najnowsze wyniki pomiarów pochodzące z tej stacji są z 2006 roku. W roku tym średnie stężenie pyłu PM₁₀ w powietrzu przekroczyło poziom dopuszczalny o 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (wynosiło 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Jako przyczynę wystąpienia przekroczenia podano emisję z pobliskich zakładów przemysłowych, ciepłowni i elektrowni (*Ocena jakości powietrza w województwie małopolskim w 2006 roku*, 2007).

Niestety ze względu na fakt, że nie prowadzi się badań podatności magnetycznej pyłów, nie ma możliwości określenia miejsc ich osadzania się i stopnia ich wpływu na wielkość podatności magnetycznej gleb.

7. Pomiary podatności magnetycznej gleb w terenie

Pomiary podatności magnetycznej gleb przeprowadzono w terenie przy użyciu aparatury Bartington z czujnikiem MS2D (pętla).

Profile kappametryczne zostały wytyczone na wschód od Elektrociepłowni.

Profil 1 i 2 zlokalizowano wzdłuż leśnych ścieżek w Lasku Łęgowskim (rys. 2). Są one do siebie prawie prostopadłe (rys. 22). Profil 1 przebiega z zachodu na wschód. Natomiast profil 2 został poprowadzony z południa na północ i załamany na 330m w kierunku zachodnim ze względu na znajdujący się w pobliżu potok.

Profil 3 poprowadzono przez torfowisko i nieużytki rolne (na obszarze nie zalesionym) Łąk Nowohuckich. Teren ten znajduje się pomiędzy Elektrociepłownią i Hutą im. T. Sendzimira (rys. 2).

Profil rozpoczyna się u podnóża urwistej skarpy i ma kierunek zbliżony do południkowego.

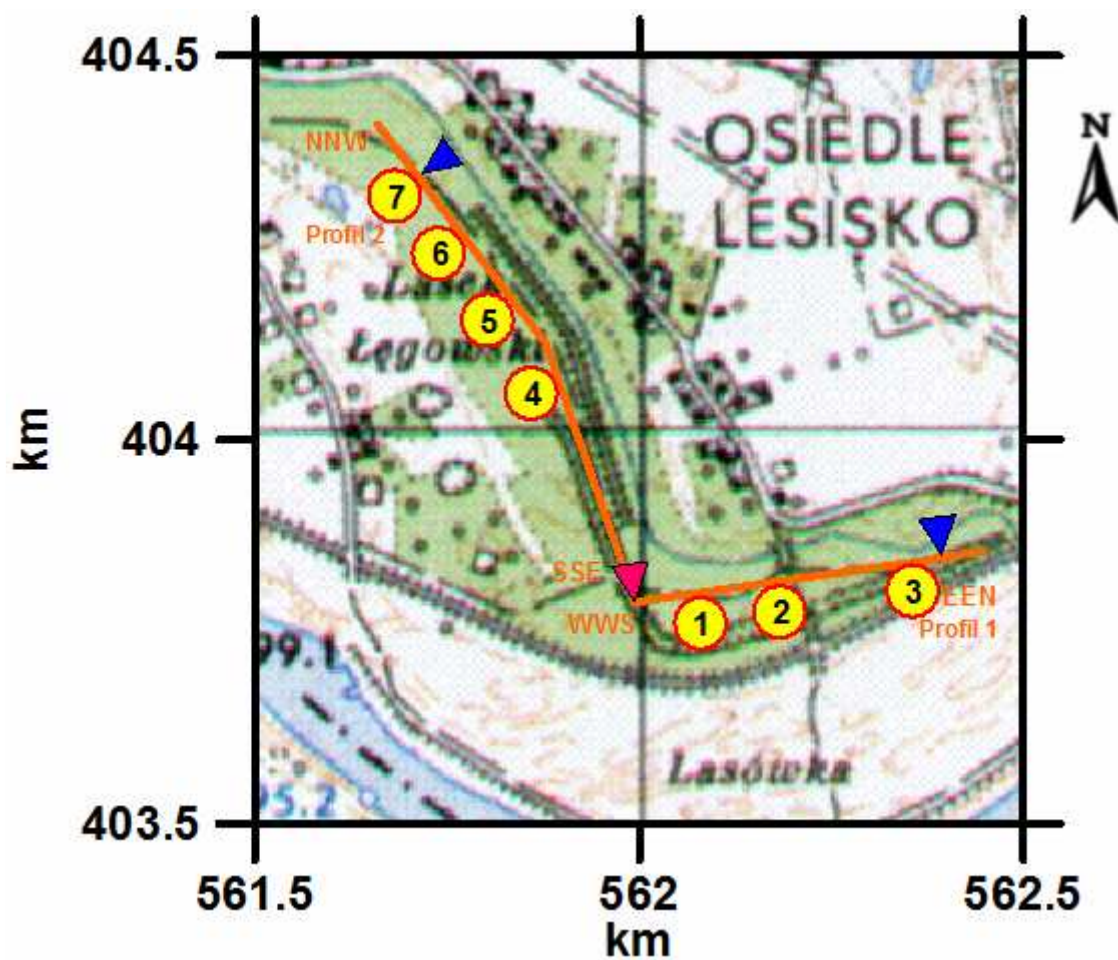
W wyniku utrudnień terenowych na 130m profil został przeniesiony o 20 m pod kątem prostym w kierunku północno-zachodnim i kontynuowany dalej na południowy-zachód (rys. 23).

Pomiary podatności gleb na wszystkich profilach wykonywano w interwale 10m.

Szczegółowe dane dotyczące profili zestawiono w tabeli 2.

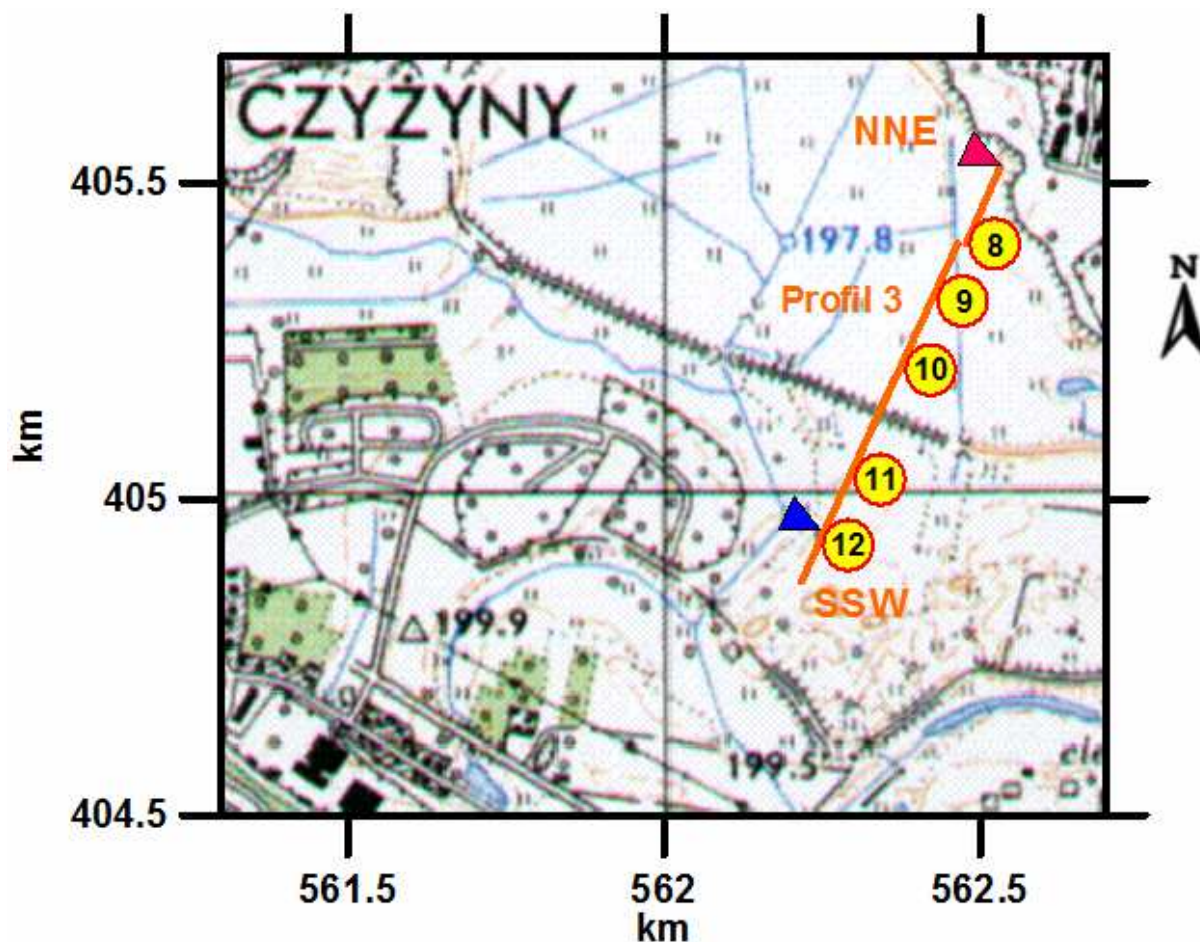
	Długość profilu[m]	Ilość punktów pomiarowych	Podatność magnetyczna	
			$\kappa_{\min}$ [10^{-5} SI]	$\kappa_{\max}$ [10^{-5} SI]
Profil 1	390	40	35	79
Profil 2	610	62	22	70
Profil 3	630	64	27	138

Tab. 2. Profile pomiarowe – długość profilu, ilość pomiarów na profilu, najwyższa i najniższa pomierzona wartość podatności magnetycznej gleby



Rys. 22. Lokalizacja profili kappametrycznych w Lasku Łęgowym na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:25 000

-  - profile pomiarowe
-  - wspólny, początkowy punkt pomiarowy na profilu 1 i 2
-  - końcowe punkty pomiarowe na profilu 1 i 2
-  - miejsca poboru próbek gleby



Rys. 23. Lokalizacja profilu kappametrycznego na Łąkach Nowohuckich na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:25 000

- - profil pomiarowy
- ▼ - początkowy punkt pomiarowy na profilu 3
- ▼ - końcowy punkt pomiarowy na profilu 3
- 8 - miejsca poboru próbek gleby

Na terenie Łąg występuje torfowisko, na którym zachodzą procesy chemiczne, takie jak oglejenie i murszenie.

Oglejenie jest to zjawisko odtlenienia substancji glebowej, charakterystyczne dla głębszych warstw gleb podmokłych.

Natomiast **murszenie** to proces biochemicznego przetwarzania materii organicznej w odwodnionych torfach i niektórych glebach, polegający na humifikacji i częściowej mineralizacji (wg W. Mizerski i H. Sylwestrzak, 2002).

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 3 i na wykresach (rys.24,25,26).

Odległość na profilu [m]	Pomierzone wartości objętościowej podatności magnetycznej κ [10^{-5}SI] na:			Odległość na profilu [m]	Pomierzone wartości objętościowej podatności magnetycznej κ [10^{-5}SI] na:		
	profilu 1	profilu 2	profilu 3		profilu 1	profilu 2	profilu 3
0	35	35	285	410	-	38	73
10	35	30	76	420	-	46	68
20	48	35	121	430	-	55	65
30	53	40	93	440	-	47	61
40	47	30	87	450	-	47	51
50	55	30	120	460	-	46	68
60	46	33	101	470	-	57	45
70	71	30	57	480	-	63	40
80	61	30	119	490	-	33	57
90	64	40	138	500	-	61	44
100	55	40	111	510	-	54	65
110	66	30	110	520	-	53	77
120	51	38	104	530	-	43	63
130	45	27	86	540	-	45	59
140	45	27	111	550	-	42	49
150	65	50	67	560	-	38	43
160	63	52	84	570	-	60	29
170	70	47	62	580	-	48	35
180	234	34	93	590	-	40	35
190	69	33	99	600	-	67	42
200	240	35	109	610	-	70	42
210	340	33	118	620	-	-	38
220	43	36	115	630	-	-	27
230	36	46	96				
240	45	38	93				
250	43	40	79				
260	51	36	62				
270	76	34	80				
280	63	26	58				
290	-	39	106				
300	43	30	70				
310	79	22	93				
320	42	30	99				
330	70	46	294				
340	40	42	101				
350	45	44	66				
360	63	38	50				
370	54	41	50				
380	51	35	75				
390	54	45	128				
400	-	44	80				

Tab. 3. Pomierzone wartości objętościowej podatności magnetycznej κ [10^{-5}SI]



- wartości minimalne

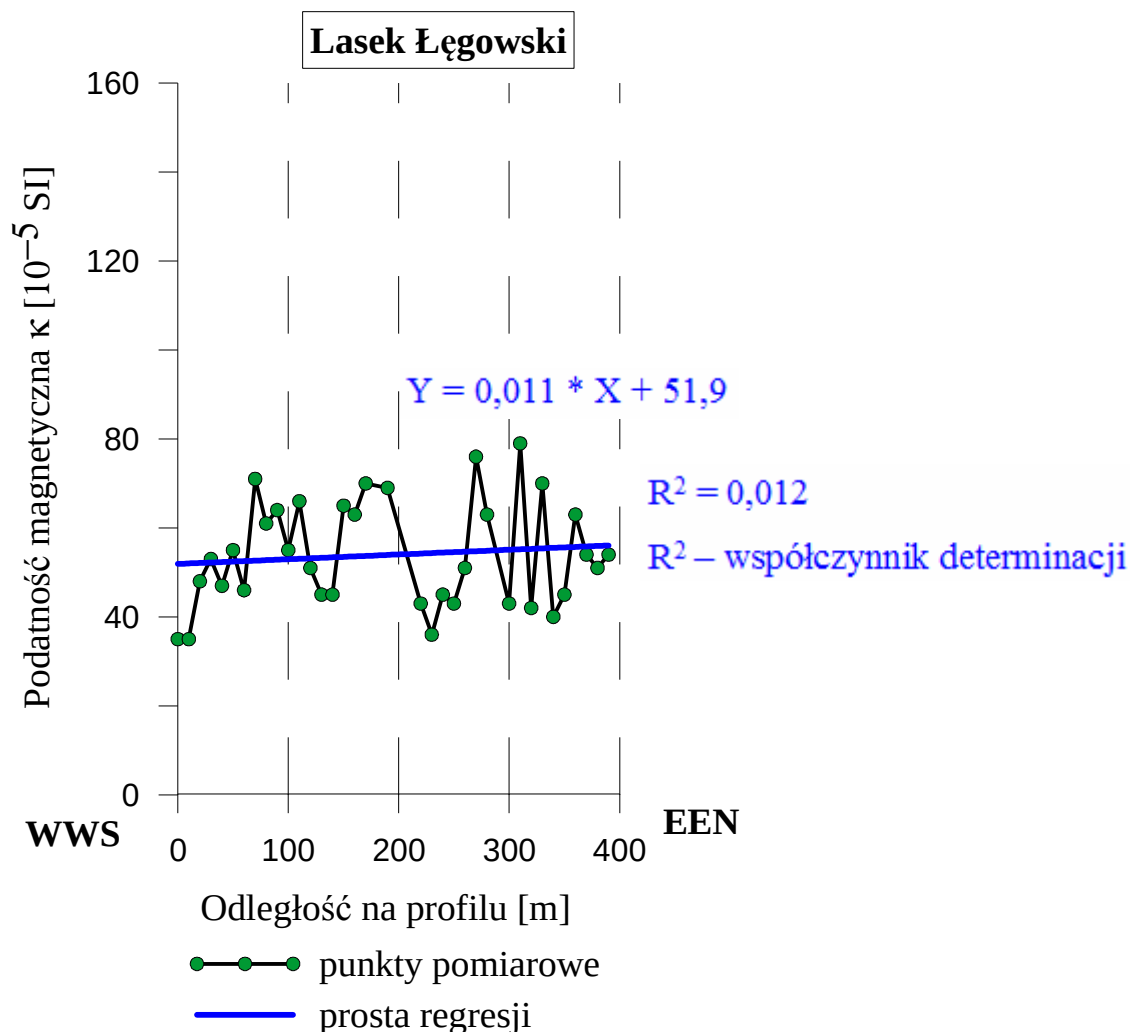


- wartości maksymalne

- wartości zawyżone – efekt wpływu czynników środowiskowych

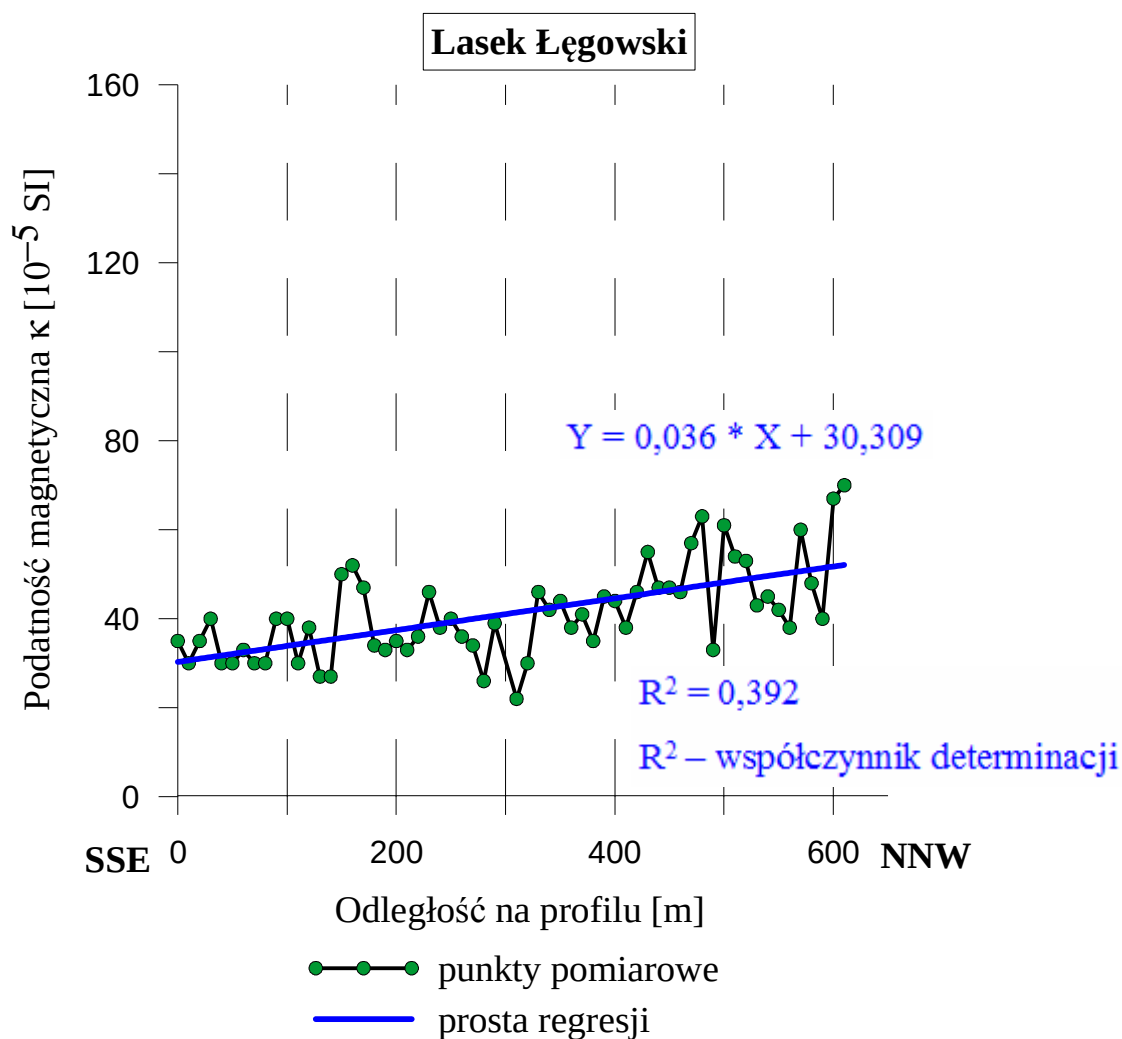
Profil 1 i 2 zostały poprowadzone na terenie zalesionym znajdującym się w pobliżu Elektrociepłowni. Pomierzone wartości podatności magnetycznej gleb są niskie i mieszczą się w wąskim przedziale, średnio od 30 do 80 [10^{-5} SI].

Najniższe wartości podatności gleby na początku profilu 1 (35 [10^{-5} SI]), przebiegającym z zachodu na wschód, powtarzają się na dalszych punktach pomiarowych. Wartość maksymalna to 79 [10^{-5} SI], a największa różnica pomiędzy sąsiednimi punktami wynosi 40 [10^{-5} SI]. Pomierzone wartości podatności gleby na końcu profilu są nieco wyższe od wartości początkowych. Jednakże ze względu na skokowy charakter zmian podatności magnetycznej, nie można stwierdzić tendencji wzrostu tego parametru w kierunku wschodnim.



Rys. 24. Wykres podatności magnetycznej gleb wzdłuż profilu 1
(pomiar czujnikiem MS2D)

Profil 2 przebiega z południowego-wschodu na północny- zachód. Na początku profilu pomierzono najniższe wartości podatności magnetycznej gleby (22 [10^{-5} SI]). Wartość maksymalna wynosi 70 [10^{-5} SI]. Obserwuje się bardzo powolną tendencję wzrostu podatności w kierunku północno-zachodnim. Może być to związane z zawartością w glebie żelaza pochodzącego z ruchu drogowego (w pobliżu znajduje się droga o wzmożonym ruchu ciężkich pojazdów).



Rys. 25. Wykres podatności magnetycznej gleb wzdłuż profilu 2 (pomiar czujnikiem MS2D)

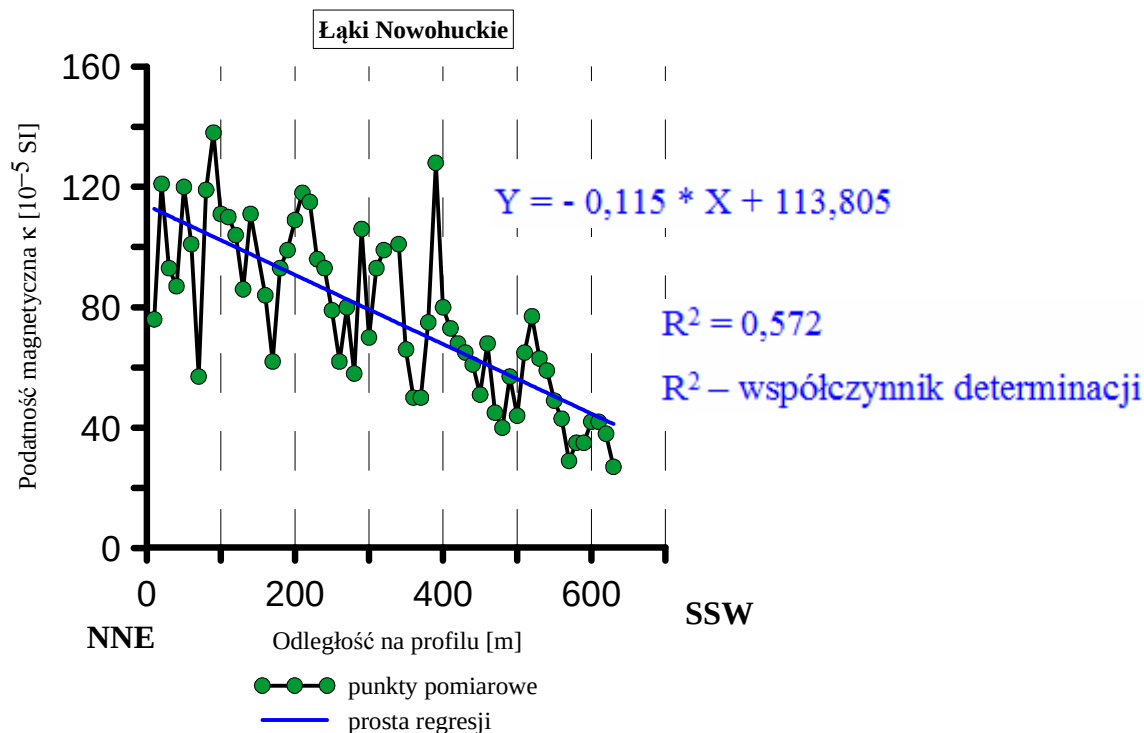
Wyniki pomiarów w Lasku Łęgowskim mogą świadczyć o braku opadu na tym obszarze pyłów pochodzących z Elektrociepłowni. Istnieje również

możliwość zatrzymywania opadających cząstek pyłów do gleby w wyniku zdolności akumulacyjnych drzewostanów.

Otrzymane wartości podatności magnetycznej na profilu 3 są znacznie wyższe od wyników pomiarów z profilów poprzednich.

Profil 3 znajduje się na terenie odkrytym pomiędzy Elektrociepłownią i Hutą im. T. Sendzimira. Został poprowadzony z północnego-wschodu na południowy-zachód. Zmiana wartości podatności magnetycznej gleby ma charakter skokowy. Obserwuje się jednak wzrost podatności w kierunku północno-wschodnim, czyli w stronę Nowej Huty, co obrazuje przebieg prostej regresji na wykresie (rys. 26). Obliczona prosta regresji (współczynnik determinacji 0,572) jest najbardziej nachylona w porównaniu z prostymi regresji, obliczonymi dla profilów 1 (rys. 24) i 2 (rys. 25).

Prawdopodobnie na tym obszarze osiadają pyły przemysłowe emitowane przez Elektrociepłownię, które przynoszone są tu przez wiatry z zachodu. Wzrost podatności magnetycznej może być również spowodowany zwiększoną w glebie zawartością żelaza, pochodzącego z ruchu drogowego. Nie można wykluczyć jednoczesnego wpływu obu czynników.



Rys. 26. Wykres podatności magnetycznej gleb wzdłuż profilu 3
(pomiar czujnikiem MS2D)

W programie Grapher dla wyników pomiarów otrzymanych na poszczególnych profilach, obliczono linie regresji oraz współczynnik determinacji.

Współczynnik determinacji R^2 jest to wartość z przedziału $[0;1]$, która wskazuje, jak bliskie rzeczywistym wartościom są wartości szacowane dla linii regresji (trendu).

Linia regresji jest najbardziej wiarygodna wówczas, gdy wartość R^2 jest równa lub bliska jedności.

Współczynnik determinacji wyraża się wzorem:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

gdzie: y_i - rzeczywista wartość zmiennej objaśnianej,

$\hat{y}_i$ - wartość teoretyczna zmiennej objaśnianej (na podstawie modelu),

$\bar{y}$ - średnia arytmetyczna empirycznych wartości zmiennej objaśnianej.

Obliczone wartości R^2 przedstawiono przy wykresach (rys. 24, 25, 26). Najwyższe dopasowanie pomierzonych wartości podatności magnetycznej do linii trendu otrzymano dla profilu 3 ($R^2 = 0,572$).

Dla wszystkich poprawnie uzyskanych wartości podatności magnetycznej w programie Statgraphics obliczono różne parametry statystyczne (tab. 4) i wykonano wykresy pudełkowe z wąsami (rys. 27).

	Pomierzone podatności magnetyczne gleb κ [10^{-5} SI]		
	na profilu 1	na profilu 2	na profilu 3
Średnia arytmetyczna	54	41	77
Odchylenie standardowe	12,00	10,38	28,17
Rozstęp danych	44	48	111

Tab. 4. Obliczone, wybrane parametry statystyczne pomierzonych wartości podatności magnetycznej gleb

Średnia arytmetyczna jest to suma wartości podzielona przez liczebność

próbki:
$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Odchylenie standardowe jest miarą rozproszenia. Opisuje, jak szeroko wartości jakiejś wielkości są rozrzucone wokół jej średniej. Im mniejsza wartość odchylenia, tym obserwacje są bardziej skupione wokół średniej. Odchylenie standardowe $\sigma(x)$ jest pierwiastkiem z wariancji $\text{var}(x)$:

$$\sigma(x) = \sqrt{\text{var}(x)},$$

$$\text{var}(x) = E[(x - E[x])^2].$$

Rozstęp danych jest to zakres zmienności między największą i najmniejszą wartością w zestawie danych.

Na profilu 3 średnia wartość podatności magnetycznej gleb wynosi 77 [10^{-5} SI]. Jak wynika z powyższej tabeli (tab. 4) występują tam największe zmiany podatności. Z dużym rozstępem wyników pomiarów związana jest wysoka wartość odchylenia standardowego (28,17).

Wykres pudełkowy z wąsami jest jednym ze sposobów przedstawiania danych statystycznych. Na wykresie przedstawione jest „pudełko”, którego brzegi wyznaczają odpowiednio pierwszy i trzeci kwartył. Pierwszy kwartył (Q1) jest to (najmniejsza) liczba, od której co najmniej $\frac{1}{4}$ wszystkich danych jest niewiększa. Natomiast trzeci kwartył (Q3) jest to (najmniejsza) liczba, od której co najmniej $\frac{3}{4}$ wszystkich danych jest niewiększe.

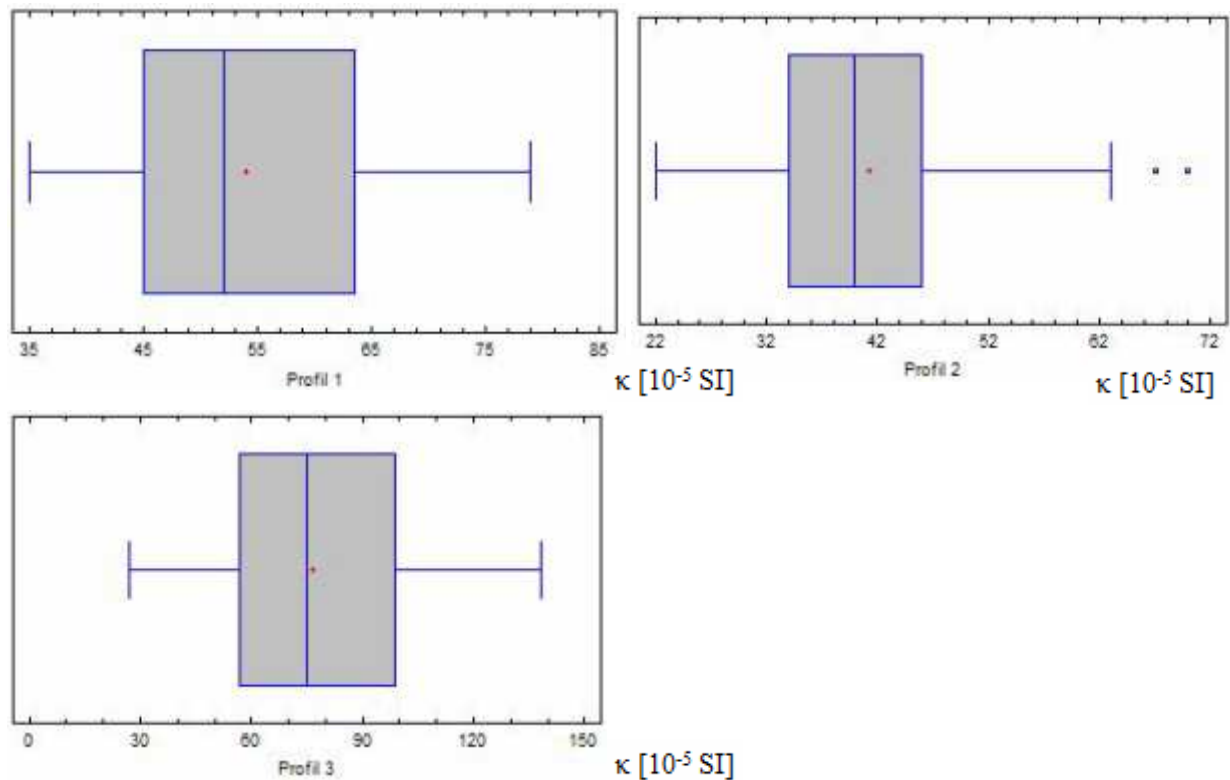
Mediana (wartość środkowa) przedstawiona jest w postaci pionowej kreski.

„Lewy wąs” jest od $Q1-X$, a „prawy wąs” jest do $Q3+X$, gdzie

$$X = 1,5 * (Q3 - Q1).$$

Wartości odległe, tzn. poza przedziałem $[Q1-X; Q3+X]$, zaznaczone są jako pojedyncze punkty.

Czerwona kropka oznacza średnią arytmetyczną.

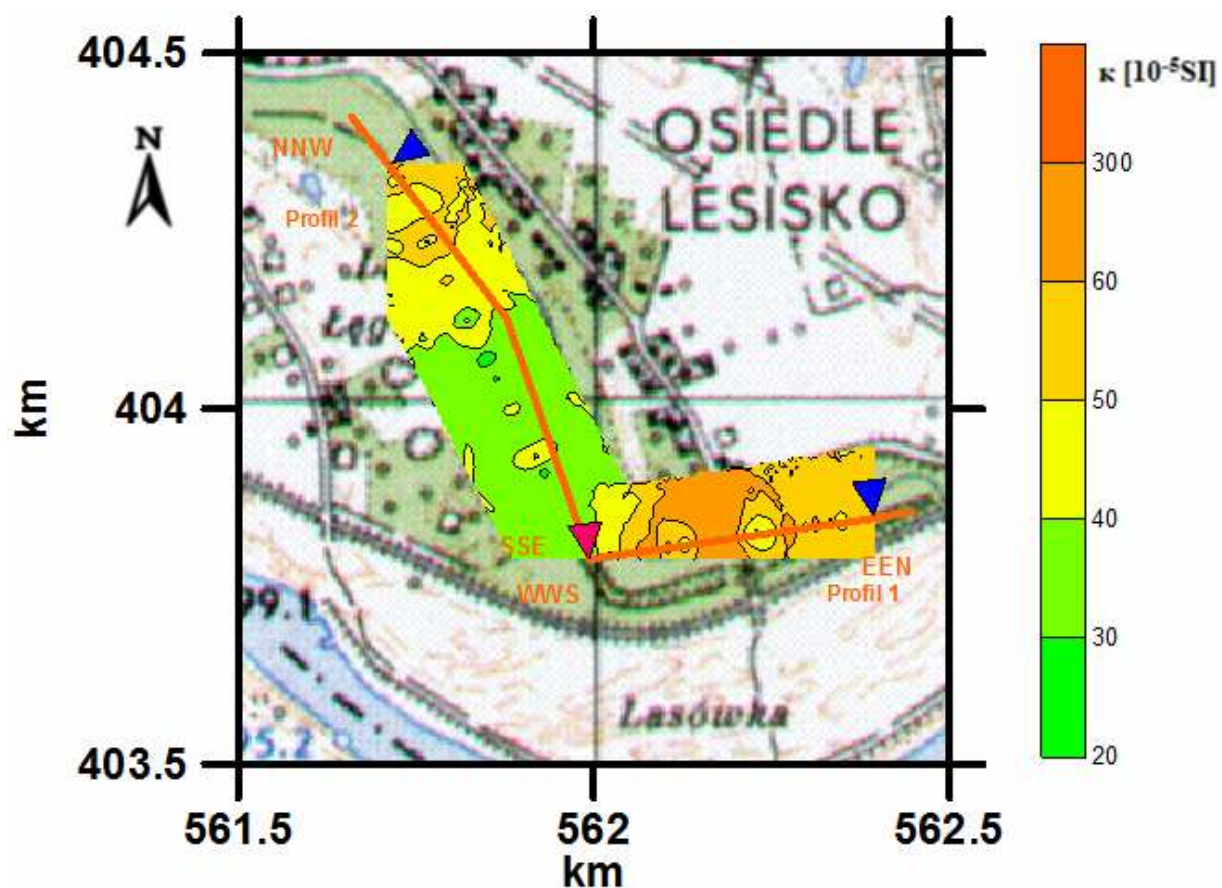


Rys. 27. Wykresy pudełkowe z wąsami

dla pomierzonych wartości podatności magnetycznej gleb z trzech profili

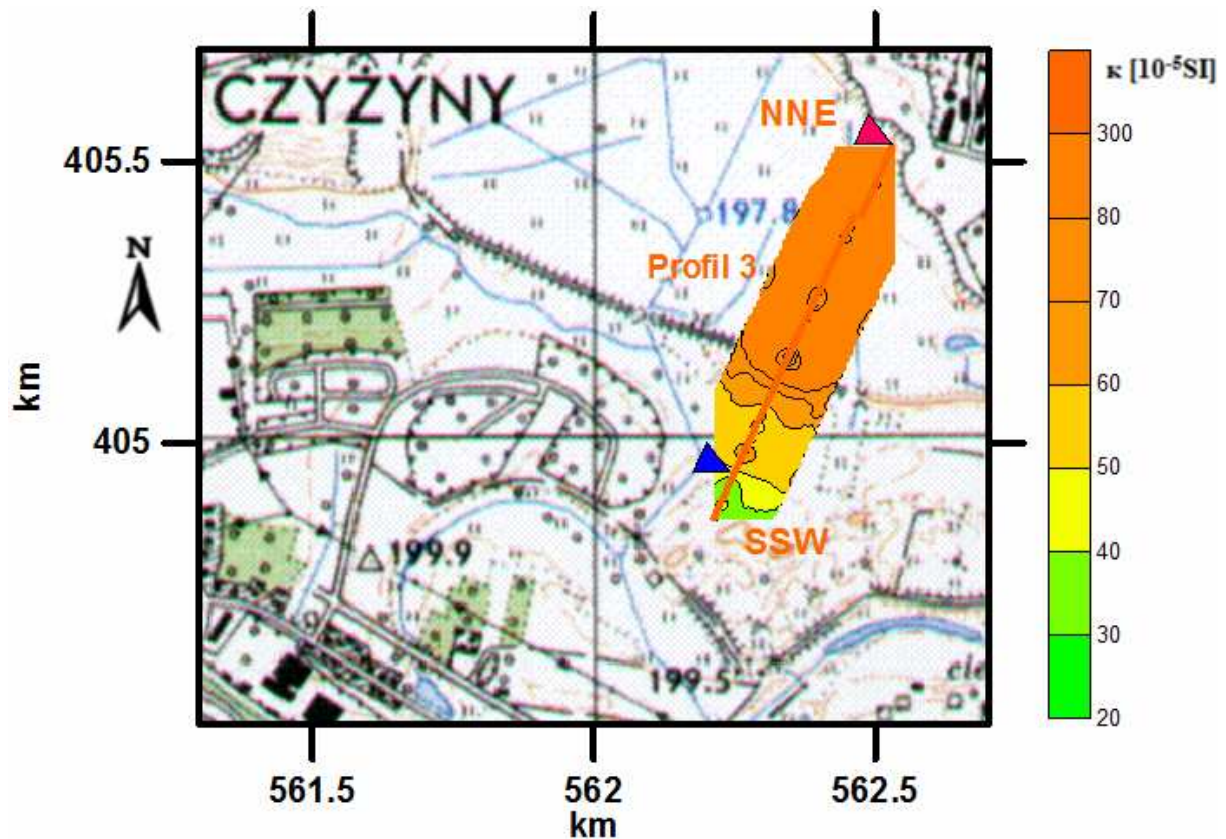
Najwyższą wartość mediany otrzymano dla wyników pomiarów z profilu 3 (ok. $73 [10^{-5} \text{ SI}]$). Na profilu 1 pomierzono więcej wyższych podatności, niż wynosi podatność magnetyczna będąca wartością środkową (rys. 27).

W celu lepszego zobrazowania otrzymanych wyników pomiarów podatności magnetycznej gleb sporządzono przy pomocy programu Surfer fragmentaryczne mapy kappametryczne obszarów badań (rys. 28 i 29). Przy konstrukcji map posłużono się metodą krigingu. Przyjęto promień uśredniania równy 0,1km.



Rys. 28. Mapa kappametryczna Lasku Łęgowskiego na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:25 000

-  - profile pomiarowe
-  - wspólny, początkowy punkt pomiarowy na profilu 1 i 2
-  - końcowe punkty pomiarowe na profilu 1 i 2



Rys. 29. Mapa kappametryczna Łąk Nowohuckich na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:25 000

- - profil pomiarowy
- ▼ - początkowy punkt pomiarowy na profilu 3
- ▼ - końcowy punkt pomiarowy na profilu 3

W literaturze (M. E. Evans, F. Heller, 2003) opisuje się obniżenie podatności magnetycznej gleb poddanych działaniom procesów chemicznych, takim jak oglejenie i murszenie.

Jednakże na obszarze torfowiska znajdującego się w północnej części profilu 3, nie zaobserwowano spadku wartości podatności magnetycznej gleb (rys. 29).

Może to być związane z małą intensywnością zachodzących tam procesów chemicznych. Inną przyczyną może być „maskowanie” procesów oglejenia i murszenia poprzez podwyższone zawartości w glebie związków żelaza, powodujących wzrost podatności magnetycznej gleb.

8. Pobieranie próbek gleb

Badania podatności magnetycznej gleb mogą być wykonywane w terenie (badania in situ) lub w laboratorium na wcześniej zebranych próbkach.

Próbki gleb powinny być reprezentatywne dla obszaru, z którego pochodzą.

Dlatego bardzo ważne jest miejsce i sposób ich pobierania.

Próbki gleb pobiera się z możliwie najmniej naruszonej gleby. Gleba taka występuje na terenach zalesionych, na nieużytkach rolnych, torfowiskach, czyli w miejscach naturalnych, nie poddanych działalności człowieka.

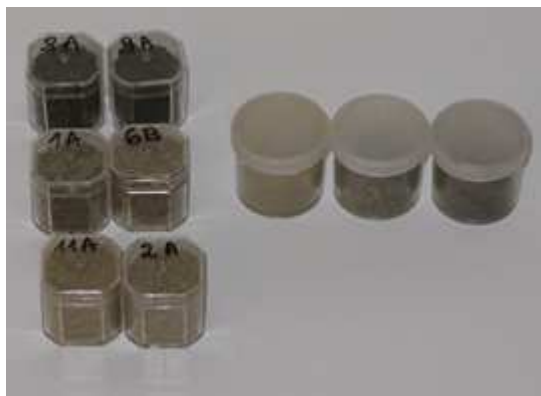
Nie należy pobierać próbek np. przy samej drodze (podwyższona podatność magnetyczna – wpływ materiału użytego do budowy drogi), na gruntach ornych i na terenach zalewowych (obniżona podatność magnetyczna – wpływ nowo naniesionego materiału).

Glebę powinno się pobierać przy pomocy niemetalowej łopatką, po odgarnięciu wierzchniej warstwy gleby zawierającej suche liście i korzenie roślin.

Na wschód od Elektrociepłowni (w Lasku Łęgowskim i na Łąkach Nowohuckich) próbki pobrano w miejscach, w których w trakcie badań terenowych pomierzono różne wartości podatności magnetycznej gleb. Natomiast na zachód od Elektrociepłowni, gdzie nie było wykonywanych pomiarów terenowych, próbki pobrano w miejscach, w których spodziewano się podwyższonych wartości podatności magnetycznej gleb, tzn. w pobliżu Elektrociepłowni i dróg o dużym natężeniu ruchu.

W każdym miejscu pobierano dwie próbki gleby – jedną z warstwy przypowierzchniowej (próbka oznaczana literą A), a drugą z głębokości około 20cm (próbka oznaczana literą B).

Glebę umieszczano w foliowych woreczkach, a następnie przesypywano do plastikowych pojemników (rys. 30).



Rys. 30. Zdjęcie plastikowych pojemników stosowanych w pomiarach aparaturą MS2 (po prawej) i w pomiarach magnetometrem rotacyjnym (po lewej)

(fot. A. Zagrodzka)

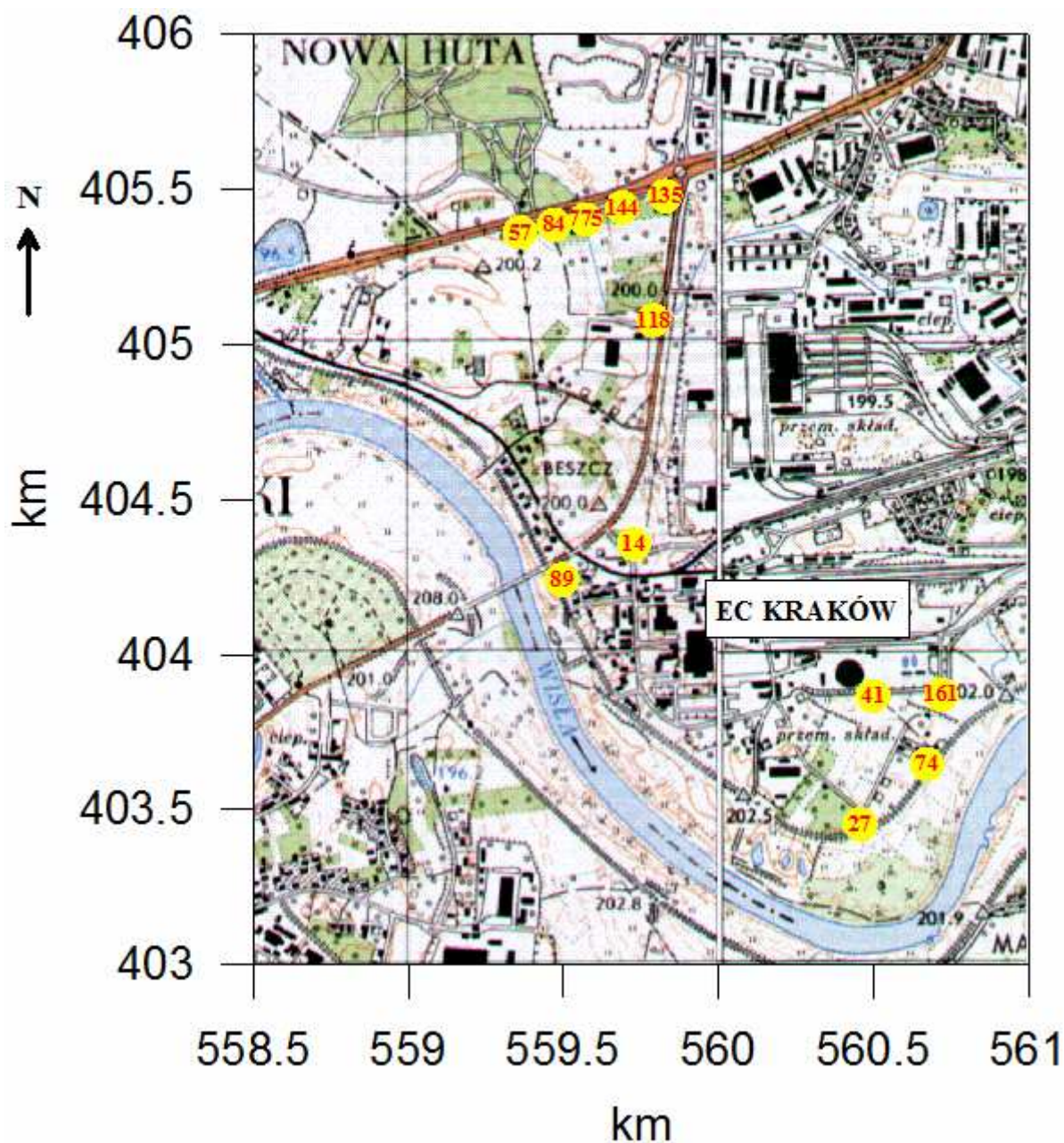
Pojemniki są różnego kształtu i wielkości.

Pojemniki do pomiarów aparaturą MS2 mają kształt walca, a ich objętość wynosi 10cm^3 . W magnetometrze rotacyjnym stosuje się pojemniki w kształcie sześciangu o objętości 7cm^3 . W pomiarach kappabridżem próbkę mieszczącą się w pojemnikach w kształcie sześciangu lub walca umieszcza się w uchwycie. Natomiast w badaniach termomagnetycznych wykorzystuje się pojemniki ceramiczne o objętości około 3cm^3 .

Badania laboratoryjne przeprowadzono w sumie na 48 próbkach gleb:

- ✓ 14 próbkach gleb z Lasku Łęgowskiego (rys. 22),
- ✓ 10 próbkach gleb z Łąk Nowohuckich (rys. 23),
- ✓ 24 próbkach gleb z terenów położonych na zachód i na południe od Elektrociepłowni (rys. 31).

Miejsca, z których pobrano próbki, przedstawione zostały na mapie topograficznej w skali 1:25 000 (rys. 22, 23 i 31).



Rys. 31. Lokalizacja miejsc poboru próbek gleb z terenów położonych na zachód i na południe od Elektrociepłowni, na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:25 000

- - miejsce, z którego pobrano próbkę gleby
- 27 - pomierzona przy pomocy czujnika MS2B podatność magnetyczna próbki gleby pobranej przy powierzchni ziemi, wyrażona jest w jednostkach 10^{-5} SI

9. Badania laboratoryjne

9.1 Podatność magnetyczna

Podatność magnetyczną próbek gleb pomierzono przy pomocy aparatury MS2 z czujnikiem MS2B i przy pomocy kappabridża (mostka).

W celu przeliczenia wyników pomiarów (podatności objętościowej) na podatność masową, wszystkie próbki zważono.

Masową podatność magnetyczną obliczono według wzoru: $\chi = \frac{\kappa \cdot V}{m} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$,

gdzie: κ – objętościowa podatność magnetyczna próbki [10^{-5} SI],

V – objętość próbki [cm^3],

m – masa próbki [g].

W tabeli 5 przedstawiono na podstawie pomiarów podatności objętościowych dokonanych czujnikiem MS2B i kappabridżem (KLY-2), obliczone masowe podatności magnetyczne próbek.

Wyniki pomiarów podatności magnetycznej próbek gleb otrzymane przy użyciu czujnika MS2B są prawie zawsze niższe od wyników pomiarów uzyskanych przy pomocy mostka (rys. 34 i 35). Różnice pomierzonych wartości rosną wraz ze wzrostem podatności magnetycznej badanych próbek.

Różnice w wynikach pomiarów podatności dokonanych czujnikiem MS2B i kappabridżem i przeliczonych na podatność masową, znajdują się w przedziale od 2 do 39% i średnio wynoszą niecałe 22%. Biorąc pod uwagę rząd wielkości pomiarów (10^{-8}) można stwierdzić, że różnice wyników są nieznaczne.

Wyjątek stanowią cztery próbki gleb (7B, 23A, 23B, 24A), których wyniki pomiarów podatności magnetycznej otrzymane przy pomocy aparatury MS2B i kappabridża znacznie się różnią (tab. 5).

Podatność magnetyczna próbek pobranych na głębokości około 20cm jest wyższa lub niższa od podatności próbek pobranych przy powierzchni.

Nr próbki	Miejsce pobrania próbki gleby	Masowa podatność magnetyczna χ [10^{-8} m ³ /kg] obliczona z pomiaru		Różnica (wartość bezwzględna)	Różnica [%]
		KLY-2	MS2B		

1A	LAS	121	92	29	24
1B	LAS	142	109	34	24
2A	LAS	159	122	38	24
2B	LAS	139	106	33	24
3A	LAS	98	76	22	22
3B	LAS	99	77	22	22
4A	LAS	89	68	21	23
4B	LAS	87	67	20	23
5A	LAS	120	92	28	23
5B	LAS	95	73	22	23
6A	LAS	72	55	17	24
6B	LAS	97	75	22	23
7A	LAS	131	100	31	24
7B	LAS	316	61	255	81
8A	ŁĄKI	460	350	110	24
8B	ŁĄKI	223	168	55	25
9A	ŁĄKI	551	414	137	25
9B	ŁĄKI	327	248	78	24
10A	ŁĄKI	425	322	104	24
10B	ŁĄKI	285	215	70	25
11A	ŁĄKI	109	83	25	23
11B	ŁĄKI	97	74	23	24
12A	ŁĄKI	158	121	38	24
12B	ŁĄKI	121	93	28	23
13A	EC	20	18	2	9
13B	EC	51	40	11	22
14A	EC	147	111	37	25
14B	EC	237	177	60	25
15A	EC	62	53	9	15
15B	EC	44	34	11	24
16A	EC	29	25	5	16
16B	EC	15	13	1	8
17A	DR	114	90	24	21
17B	DR	233	143	90	39
18A	DR	47	39	8	17
18B	DR	13	14	0	2
19A	DR	62	51	11	18
19B	DR	92	71	21	23
20A	DR	707	485	222	31
20B	DR	344	334	11	3
21A	DR	129	100	28	22
21B	DR	130	100	29	23
22A	EC	87	66	20	23
22B	EC	62	47	15	24
23A	DR	153	77	76	50
23B	DR	11	122	111	1019
24A	DR	98	9	89	91
24B	DR	11	10	2	14

Tab. 5. Obliczona masowa podatność magnetyczna próbek gleb
z pomiarów podatności wykonanych MS2B i KLY-2

Tab. 5. Legenda:

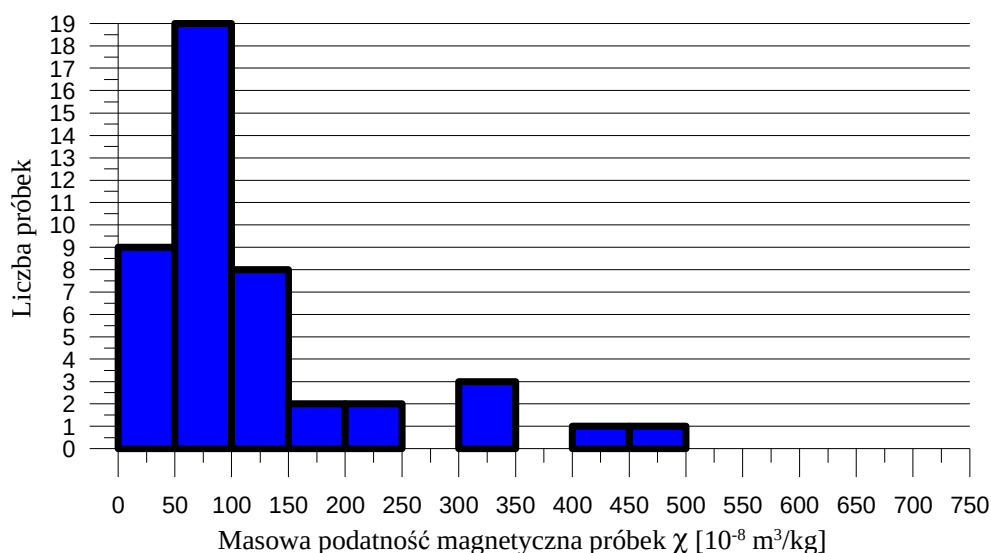
LAS – próbka gleby z Lasku Łęgowskiego

ŁĄKI – próbka gleby z Łąk Nowohuckich

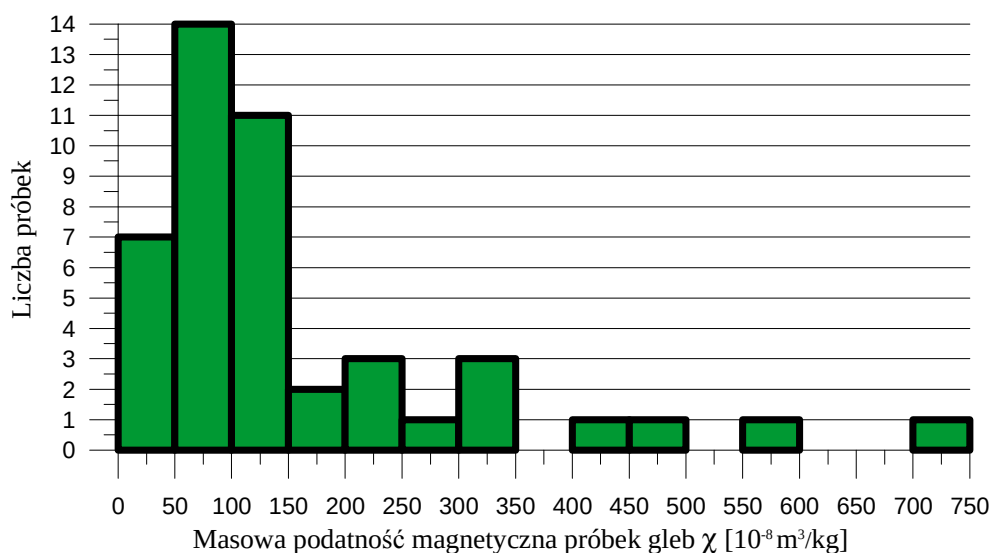
EC – próbka gleby pobrana w pobliżu Elektrociepłowni

DR – próbka gleby pobrana przy drodze

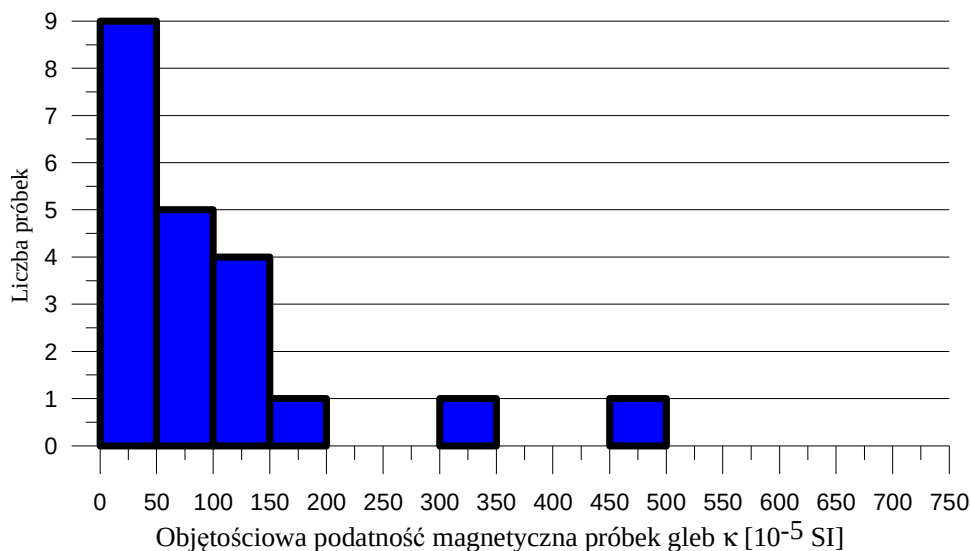
W celu lepszego zobrazowania otrzymanych wyników podatności magnetycznej próbek gleb sporządzono histogramy (rys. 32 - 35).



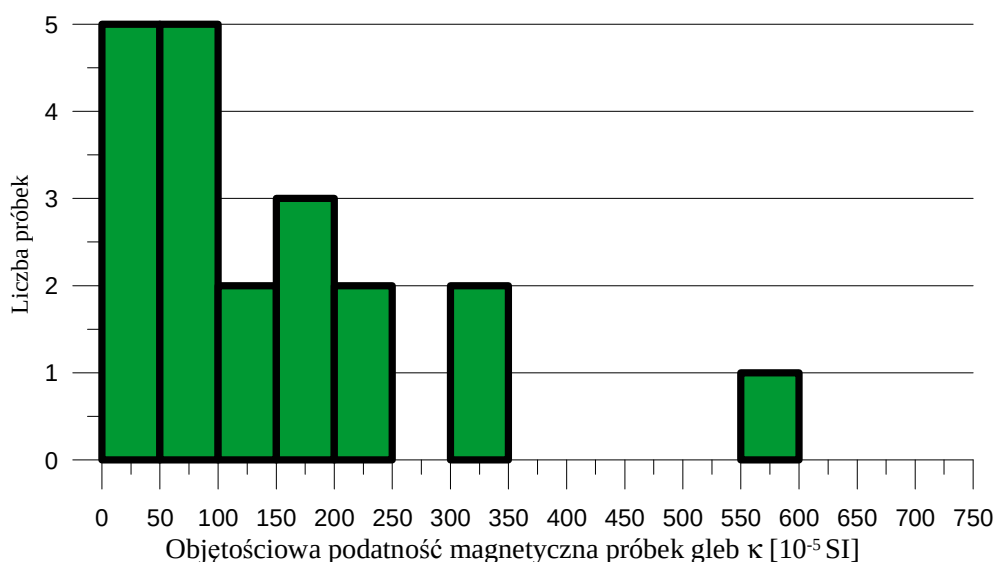
Rys. 32. Histogram właściwej podatności magnetycznej próbek gleb obliczonej z pomiarów czujnikiem MS2B



Rys. 33. Histogram właściwej podatności magnetycznej próbek gleb obliczonej z pomiarów kappabridżem



Rys. 34. Histogram objętościowej podatności magnetycznej próbek gleb obliczonej z pomiarów czujnikiem MS2B



Rys. 35. Histogram objętościowej podatności magnetycznej próbek gleb obliczonej z pomiarów kappabridżem

Próbki gleb pobrane w badanym rejonie najczęściej wykazują objętościową podatność magnetyczną od 0 do 150 [10^{-5} SI] (rys. 34 i 35). Można stwierdzić, że wartości tego rzędu nie są duże, gdyż podobne wyniki pomiarów otrzymano m.in. w okolicach Opola (międzynarodowy projekt MAGPROX), na obszarach słabo zanieczyszczonych (T. Magiera i in., 2005).

Histogramy podatności masowej (rys. 32 i 33), która uwzględnia wpływ upakowania ziaren w próbce, wskazują na największą liczbę próbek o podatnościach w granicy od 50 do 100 [10^{-5} SI], mierzonych zarówno przy pomocy aparatury MS2 jak i kappabridża.

9.2 Superparamagnetyki

Cząstki magnetyczne zawarte w glebach mogą być pochodzenia naturalnego (są to tzw. superparamagnetyki) lub pochodzenia antropogenicznego.

Parametrem pozwalającym na określenie pochodzenia cząstek magnetycznych jest częstotliwościowa zależność podatności magnetycznej, określana współczynnikiem f_d .

W celu obliczenia częstotliwościowej zależności podatności magnetycznej wykonano pomiary podatności magnetycznej próbek gleb przy niskiej, a następnie przy wysokiej częstotliwości.

Pomiary przeprowadzono na 24 próbkach gleb pobranych w Lasku Łęgowym i na Łąkach Nowohuckich, przy pomocy aparatury MS2 z czujnikiem MS2B.

Wyniki pomiarów poprawiono poprzez odjęcie od pomierzonej wartości podatności próbki średniej z dwóch pomiarów powietrza:

$$\kappa_{\text{poprawione}} = \kappa_{\text{próbki}} - (\kappa_{\text{pierwszego powietrza}} + \kappa_{\text{drugiego powietrza}})/2.$$

Następnie według wzoru: $f_d = \frac{\kappa_{lf} - \kappa_{hf}}{\kappa_{lf}} \cdot 100\%$

obliczono częstotliwościową zależność podatności magnetycznej.

κ_{lf} jest to objętościowa podatność magnetyczna próbki pomierzona przy niskiej częstotliwości, a κ_{hf} jest to podatność pomierzona przy wysokiej częstotliwości.

Przyjmuje się, że jeżeli współczynnik f_d jest większy od 4%, oznacza to możliwość występowania w glebie superparamagnetyków - cząstek

magnetycznych pochodzenia naturalnego. Częstki te wykazują bardzo silne własności magnetyczne i są bardzo małych rozmiarów. W przypadku ziaren magnetytu i hematytu w normalnej temperaturze są to ziarna o średnicy poniżej $0,03 \mu\text{m}$ (W. Lowrie, 1997).

Poniżej 4% przyjmuje się, że cząstki magnetyczne są pochodzenia antropogenicznego (M. E. Evans i F. Heller, 2003).

Wyniki zebrano w poniższej tabeli (tab. 6).

Nr próbki	Barwa próbki	$\kappa_{lf} [10^{-5} \text{ SI}]$	$\kappa_{hf} [10^{-5} \text{ SI}]$	$f_d [\%]$
1A	brązowa	60.08	59.43	1
1B	brązowa	80.47	79.64	1
2A	żółta	110.59	109.51	1
2B	żółta	98.86	98.23	1
3A	czarna	61.66	59.48	4
3B	brązowa	50.11	48.61	3
4A	czarna	39.56	38.81	2
4B	brązowa	54.16	53.56	1
5A	czarna	50.69	50.47	0
5B	żółta	56.14	54.21	3
6A	brązowa	37.74	37.21	1
6B	żółta	61.43	60.82	1
7A	żółta	81.12	80.35	1
7B	żółta	41.32	40.53	2
8A	czarna	150.33	150.17	0
8B	brązowa	150.89	149.51	1
9A	czarna	223.53	222.75	0
9B	czarna	206.04	205.56	0
10A	brązowa	215.44	213.84	1
10B	brązowa	178.38	176.29	1
11A	żółta	69.90	69.79	0
11B	żółta	68.51	67.78	1
12A	żółta	96.62	96.38	0
12B	żółta	80.51	79.52	1

Tab. 6. Podatność magnetyczna pomierzona przy dwóch różnych częstotliwościach, częstotliwościowa zależność podatności magnetycznej oraz barwa próbek gleb

Wysokie wartości współczynnika f_d mają trzy badane próbki gleb: 3A, 3B i 5B (tab. 6), co może być związane z obecnością superparamagnetyków. Próbki pochodzą z Łasku Łęgowskiego (rys. 2), posiadają niskie wartości podatności magnetycznej i mają różną barwę (tab. 6).

9.3 Bezhisterezowa pozostałość magnetyczna ARM

Bezhisterezowa pozostałość magnetyczna ARM jest czuła na obecność w próbce jednodomenowych ziaren minerałów ferrimagnetycznych (magnetytu, maghemitu). Parametr ten rośnie ze wzrostem koncentracji tych minerałów (O. Polechońska, 2007).

Badania ARM wykonano na dwudziestu czterech próbkach gleb pochodzących z terenów na wschód od Elektrociepłowni.

Próbki rozmagnesowano przy pomocy demagnetyzera, a następnie pomierzono wartości ARM wykorzystując magnetometr rotacyjny. Wartości bezhisterezowej pozostałości magnetycznej ARM próbek gleb zostały przedstawione w tabeli 7.

Otrzymane wyniki bezhisterezowej pozostałości magnetycznej mieszczą się w zakresie od 0,02 do 0,13 A/m. Najwyższe ARM posiadają próbki pochodzące z profilu 3 (Łąki Nowohuckie), co może świadczyć o podwyższonej zawartości w glebach jednodomenowych ziaren magnetytu lub maghemitu.

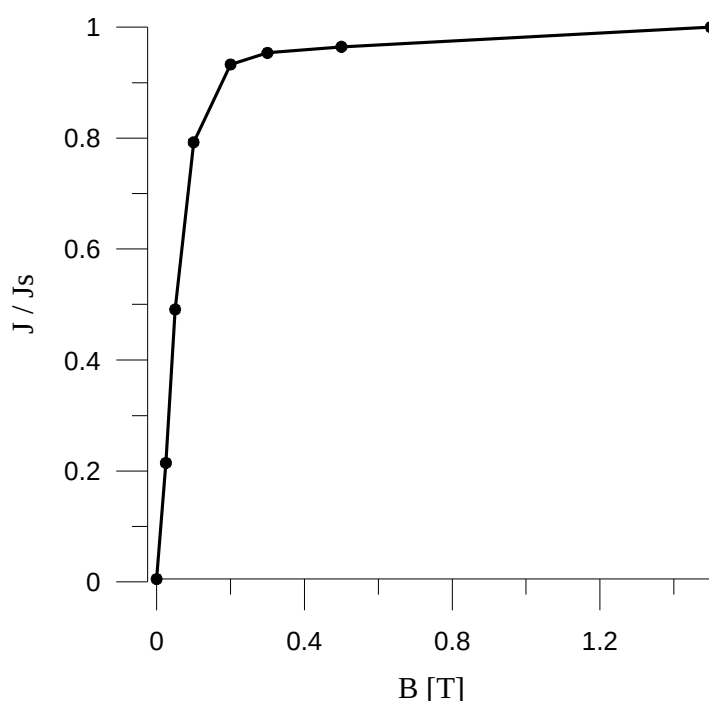
Nr próbki	M(x)	M(y)	M(z)	ARM [A/m]
1A	1.18	-0.73	-5.30	5.48E-02
1B	0.90	-0.33	-6.06	6.14E-02
2A	0.49	0.02	-5.46	5.48E-02
2B	0.71	0.27	-7.24	7.28E-02
3A	0.01	-0.13	-5.35	5.35E-02
3B	0.10	0.30	-4.16	4.17E-02
4A	0.34	-0.13	-2.58	2.61E-02
4B	0.93	-0.28	-5.19	5.28E-02
5A	0.01	0.02	-5.62	5.62E-02
5B	0.06	0.27	-3.43	3.44E-02
6A	0.12	-0.17	-2.95	2.96E-02
6B	0.06	0.02	-6.11	6.12E-02
7A	0.12	0.07	-5.86	5.86E-02
7B	-1.35	0.73	-17.13	1.72E-02
8A	0.51	0.18	-12.59	1.26E-01
8B	0.27	1.98	-5.71	6.05E-02
9A	0.38	-0.10	-13.47	1.35E-01
9B	-0.34	0.31	-9.65	9.66E-02
10A	-0.80	-0.26	-11.75	1.18E-01
10B	0.47	0.29	-10.16	1.02E-01
11A	-0.20	0.02	-3.62	3.63E-02
11B	0.11	0.13	-3.91	3.92E-02
12A	0.21	0.09	-6.16	6.16E-02
12B	-0.18	-0.07	-5.06	5.06E-02

Tab. 7. Wartości ARM wzdłuż trzech profili (A – ARM prób pobranych przy powierzchni ziemi, B – ARM prób pobranych na głębokości około 20cm)

9.4 Izotermiczna pozostałość magnetyczna IRM

Izotermiczna pozostałość magnetyczna IRM pozwala m.in. na identyfikację w próbce minerałów ferrimagnetycznych i antyferromagnetycznych.

Pomiary izotermicznej pozostałości magnetycznej przeprowadzono na 24 próbkach gleb pobranych w Lasku Łęgowskim i na Łąkach Nowohuckich. Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresie w postaci uśrednionych krzywych IRM znormalizowanych do wartości pola magnesującego 1,5 [T] (rys. 36).



Rys. 36. Krzywa IRM w funkcji pola B

Poziom nasycenia magnetycznego próbek (saturacji - pełnego namagnesowania) został osiągnięty już w polu magnetycznym rzędu 0,3 Tesla.

Tak szybki proces namagnesowania jest charakterystyczny dla minerałów ferrimagnetycznych, takich jak magnetyt czy maghemit (K. L. Verosub i A. P. Roberts, 1995).

Następnie na próbki gleby działano słabym polem magnetycznym

o przeciwnym znaku i wartości 0,3 Tesla. Namagnesowanie próbek mierzono przy pomocy magnetometru rotacyjnego JR-6A. Wartości namagnesowania próbek dzielono przez wielkość namagnesowania saturacyjnego, otrzymanego przy wartości pola magnetycznego 1,5 Tesla.

Przyjmuje się, że jeżeli wartość tego ilorazu jest w przybliżeniu równa jeden, to w próbce przeważa magnetyt.

Im bardziej wartość ilorazu jest mniejsza od jedności, tym próbka gleby zawiera więcej minerałów o wyższej koercji (hematytu, getytu) (O. Polechońska, 2007).

Wyniki przedstawiono w poniższej tabeli (tab. 8).

Nr próbki	Stosunek $J_{(-0.3)} / J_s$	Nr próbki	Stosunek $J_{(-0.3)} / J_s$
1A	0.93	11A	0.94
1B	0.84	11B	0.88
2A	1.05	12A	0.87
2B	0.92	12B	0.95
3A	1	16B	0.62
3B	1.04	17B	0.84
4A	0.76	18A	0.89
4B	0.93	19A	0.87
5A	0.9	19B	0.98
5B	0.99	20A	0.96
6A	0.95	20B	1.05
6B	0.93	21A	0.95
7A	0.9	21B	0.92
7B	0.93	22A	0.9
8A	0.92	34B	0.9
8B	0.83		
9A	0.94		
9B	0.93		
10A	0.89		
10B	0.91		

Tab. 8. Stosunek namagnesowania próbki w polu o wartości 0,3 Tesla i przeciwnym zwrocie do wartości namagnesowania nasycenia

Dodatkowo dla wszystkich próbek obliczono współczynnik S będący miarą nasycenia. Jest on równy stosunkowi wartości izotermicznej pozostałości magnetycznej zmierzonej w polu 0,3 Tesla o przeciwnym zwrocie do saturacyjnej wartości izotermicznej pozostałości magnetycznej SIRM:

$$S = \frac{IRM_{(-0,3)}}{SIRM}.$$

Przyjmuje się, że jeśli współczynnik nasycenia S jest bliski 1, to w próbce gleby występują minerały ferrimagnetyczne (O. Polechońska, 2007).

Nr próbki	IRM w polu magnetycznym		S
	B = 1,5 [T]	B = - 0,3 [T]	
1A	5.46E-06	5.10E-06	0.93
1B	7.71E-06	6.47E-06	0.84
2A	6.87E-06	7.24E-06	1.05
2B	8.66E-06	7.94E-06	0.92
3A	5.54E-06	5.53E-06	1.00
3B	4.51E-06	4.68E-06	1.04
4A	3.26E-06	2.47E-06	0.76
4B	5.78E-06	5.35E-06	0.93
5A	6.51E-06	5.86E-06	0.90
5B	4.47E-06	4.41E-06	0.99
6A	3.26E-06	3.10E-06	0.95
6B	6.26E-06	5.80E-06	0.93
7A	6.47E-06	5.85E-06	0.90
7B	2.48E-06	2.30E-06	0.93
8A	1.62E-05	1.49E-05	0.92
8B	1.25E-05	1.04E-05	0.83
9A	1.92E-05	1.81E-05	0.94
9B	1.65E-05	1.53E-05	0.93
10A	1.74E-05	1.55E-05	0.89
10B	1.55E-05	1.42E-05	0.91
11A	4.84E-06	4.56E-06	0.94
11B	5.50E-06	4.86E-06	0.88
12A	8.22E-06	7.14E-06	0.87
12B	6.63E-06	6.29E-06	0.95

Tab. 9. Obliczony współczynnik nasycenia S dla poszczególnych próbek gleb

Wyniki pomiarów przedstawione w tabeli 9 wskazują, że w badanych próbkach występuje dużo magnetytu, gdyż współczynnik S dla większości próbek jest bliski jeden.

W próbkach, dla których S jest mniejszy od 0,9 mogą występować minerały o podwyższonej koercji (tab. 9).

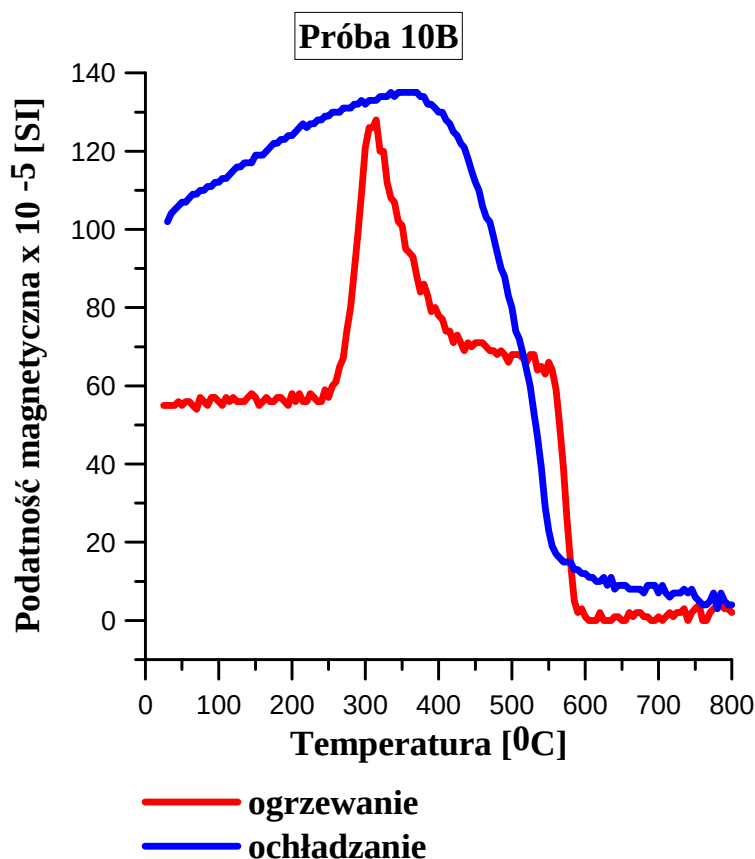
9.5 Krzywe termomagnetyczne

Pomiary termomagnetyczne wykonuje się w celu zaobserwowania procesów mineralogicznych zachodzących w próbce gleby w czasie zmiany temperatury. W efekcie istnieje możliwość określenia składu mineralnego badanej próbki.

Badania przeprowadzono na próbce gleby o wysokiej podatności magnetycznej z Łąk Nowohuckich (próbka 10B, $\kappa = 178 [10^{-5} \text{ SI}]$).

W wyniku pomiarów przeprowadzonych przy pomocy czujnika MS2W otrzymano krzywą termomagnetyczną (rys. 37), opisującą zmiany podatności magnetycznej próbki gleby z temperaturą.

Krzywa czerwona jest to „krzywa grzania”, natomiast krzywa niebieska jest krzywą zarejestrowaną w trakcie stygnięcia próbki.



Rys. 37. Krzywa termomagnetyczna próbki 10B
pobranej na terenie Łąk Nowohuckich

Przedstawiona na rys. 37 krzywa termomagnetyczna ma charakter złożony. Zmiany podatności magnetycznej próbki są nieodwracalne.

Gwałtowny wzrost podatności magnetycznej przy ogrzewaniu próbki (efekt Hopkinsona), pojawiający się w temperaturze ok. 350⁰C, może świadczyć o obecności siarczków żelaza (R. T. Merryll, 1998).

Charakter krzywej chłodzenia może być związany z występowaniem w próbce magnetytu, na co wskazuje raptowny wzrost podatności magnetycznej w temperaturze ok. 580 ⁰C.

9.6 Skaningowy mikroskop elektronowy SEM

Badania cząstek magnetycznych zostały wykonane na separatach magnetycznych z materiału próbki 9B. Próbka ta pochodziła z Łąk

Nowohuckich (rys. 2) i posiadała bardzo wysoką masową podatność magnetyczną (ponad $200 [10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}]$).

W celu wykonania separatów materiał rozdrobniono, a następnie przesiano przez dwa sita o różnych rozmiarach oczek (0,6 i 0,15 mm). Używając magnesu zebrano cząstki magnetyczne z dwóch frakcji przesianego materiału (były to przede wszystkim tlenki i wodorotlenki żelaza). W dalszym ciągu przygotowań między innymi oprószono materiał złotem, wskutek czego na przedstawionych poniżej spektrach widoczny jest pierwiastek Au.

Zdjęcia separatów magnetycznych zostały zrobione skaningowym mikroskopem elektronowym (SEM). Na ich podstawie określono morfologię cząstek magnetycznych.

Następnie na separatach magnetycznych wykonano spektra. Miejsca ich wykonania oznaczono na zdjęciach żółtymi punktami. Analiza spektralna pozwoliła na identyfikację składu mineralnego.

Zdjęcia skaningowym mikroskopem elektronowym wraz z spektrami zostały przedstawione na rys. 38 – 66.

Sfotografowane cząstki mają rozmiary od około $27 \mu\text{m}$ do około $115 \mu\text{m}$ długości.

Wśród nich charakterystyczną grupę stanowią cząstki magnetyczne o kulistych kształtach. Są to **sferule żelaziste**.

Powstają one w wyniku spalania paliw stałych, zawierających m.in. związki żelaza. Ich powierzchnia może być gładka (rys. 55 i 60), gąbczasta (rys. 45), bądź poprzerastana innymi minerałami (rys. 53, 57, 60). W ostatnim przypadku mogą powstać na powierzchni sferul bardzo interesujące formy (rys. 64).

Sferule żelaziste mogą być wewnątrz pełne lub puste. Sferule puste można rozpoznać po występujących na powierzchni otworach ujścia gazów (rys. 51). Większość zbadanych cząstek ma glinokrzemianową otoczkę, a czasami również krzemianową lub wapienną.

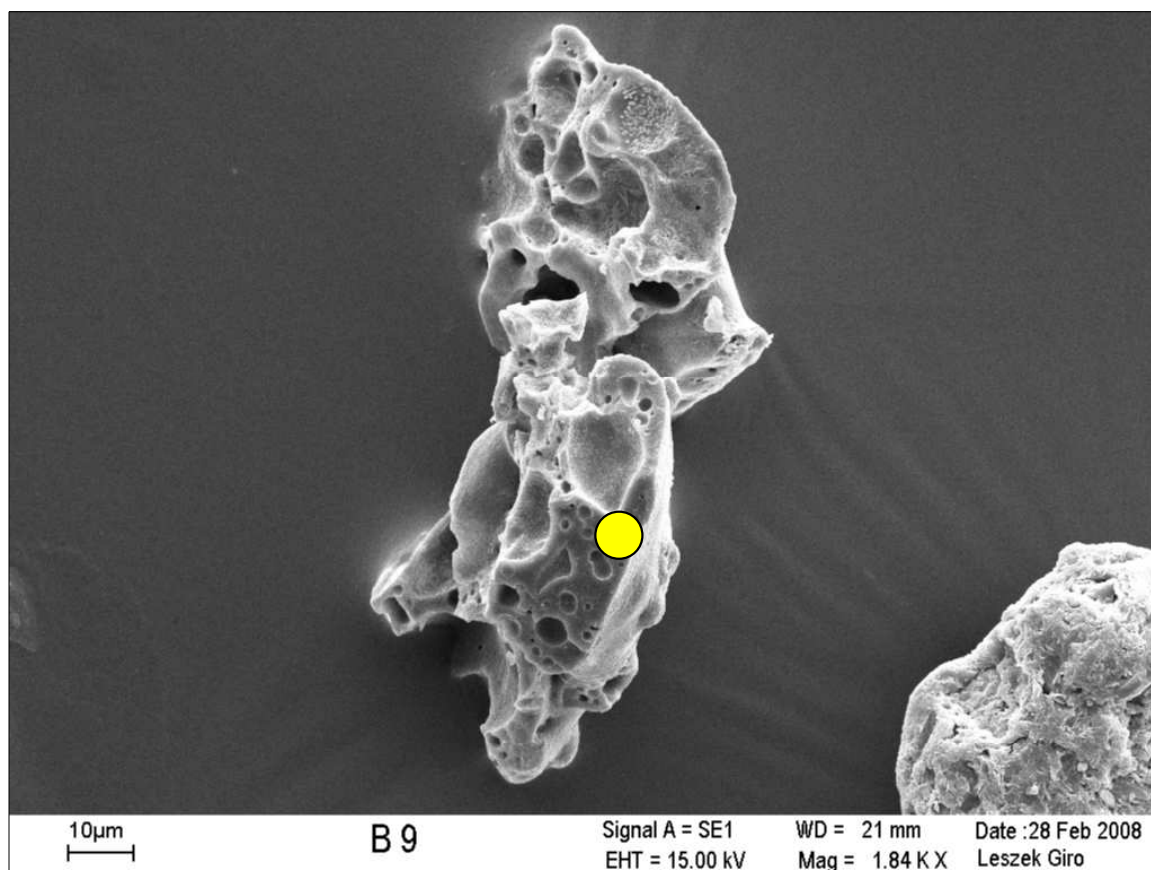
Sferule są cząstkami czynnymi magnetycznie. Dodatkowo na ich powierzchni mogą zostać związane siłami adsorpcji metale ciężkie.

Analiza spektralna wykazała, że cząstki magnetyczne zawierają żelazo, glin, krzem, wapń, a także domieszki tytanu, manganu, magnezu i węgla.

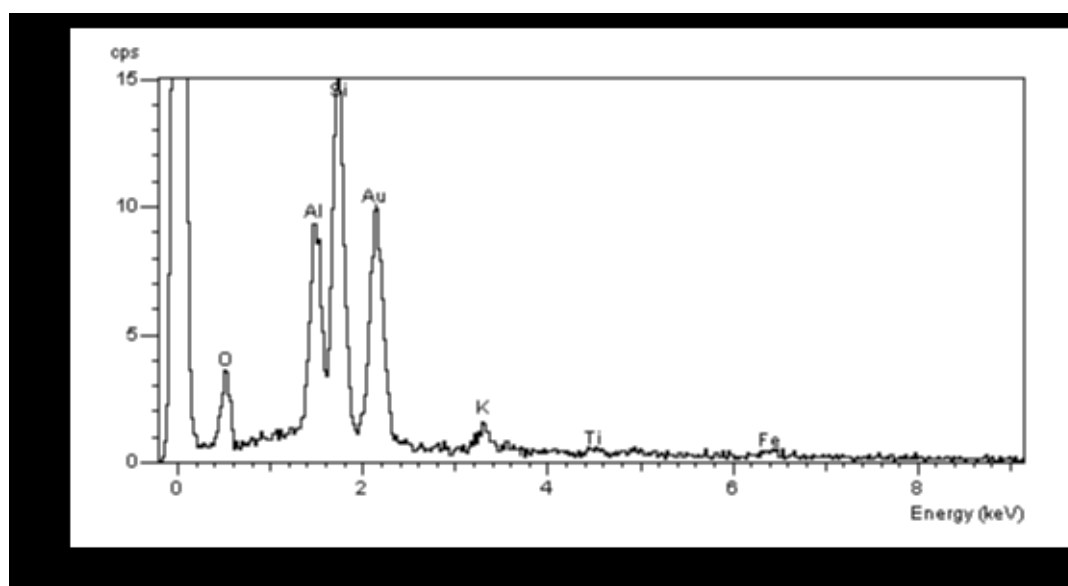
Oprócz sferul żelazistych w badanych separatach występuje materiał detrytyczny. Morfologia ziaren materiału detrytycznego jest zróżnicowana. Występuje on zazwyczaj w postaci nieregularnych ziaren o różnej wielkości. Wyjątek stanowi cząstka na rys. 40, której kształt zbliżony jest do sześcianu.

Rys. 38 przedstawia zdjęcie materiału o strukturze gąbczastej. Posiada on glinokrzemianową powłokę.

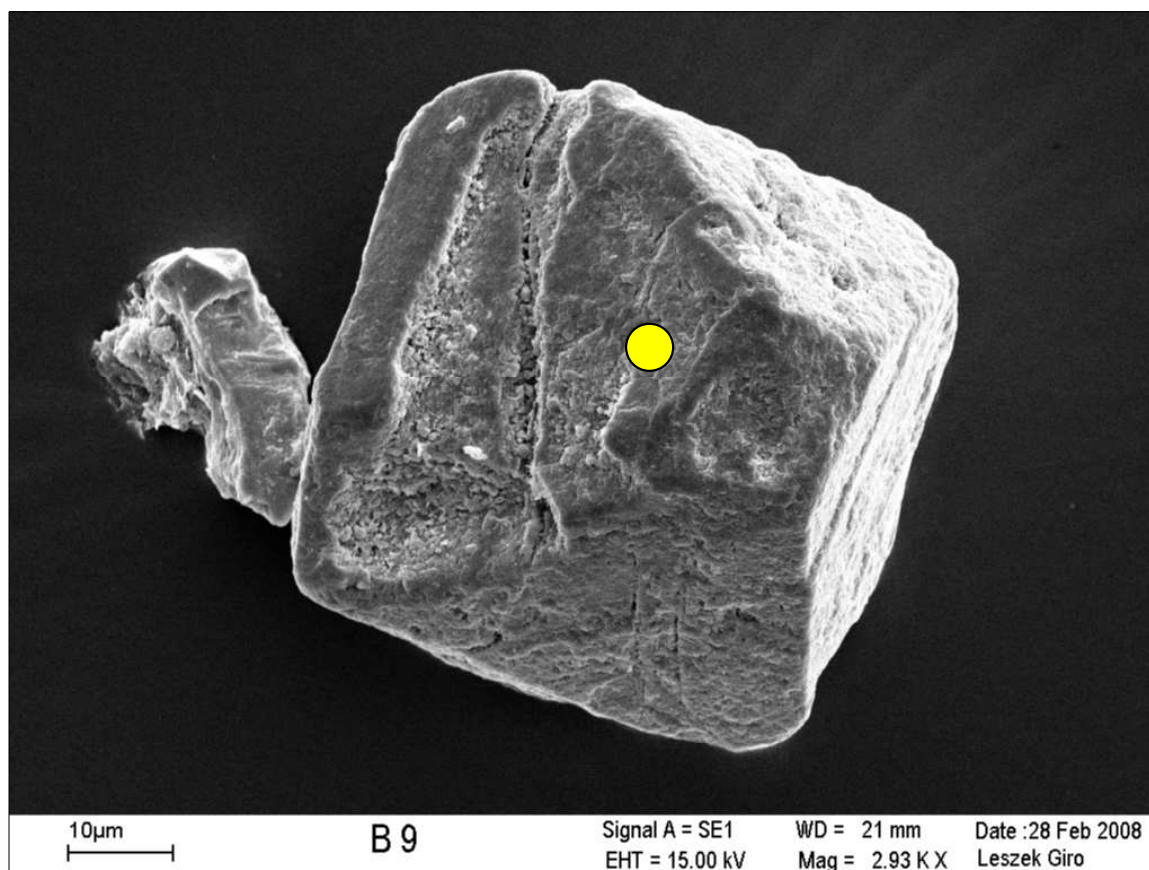
Tego typu cząstki mogą znajdować się w pyłach emitowanych przez hutę. Tezę tę potwierdza analiza spektralna. Wykazała ona na powierzchni cząstki obecność tytanu, który jest twardym metalem, stosowanym jako dodatek stopowy do stali.



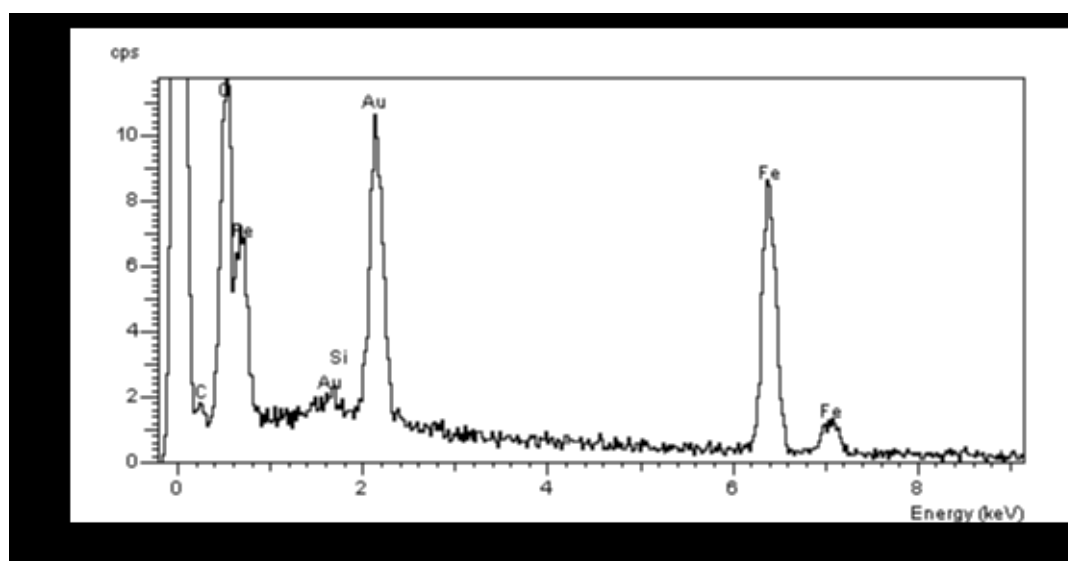
Rys. 38. Zdjęcie uzyskane skaningowym mikroskopem elektronowym (SEM)



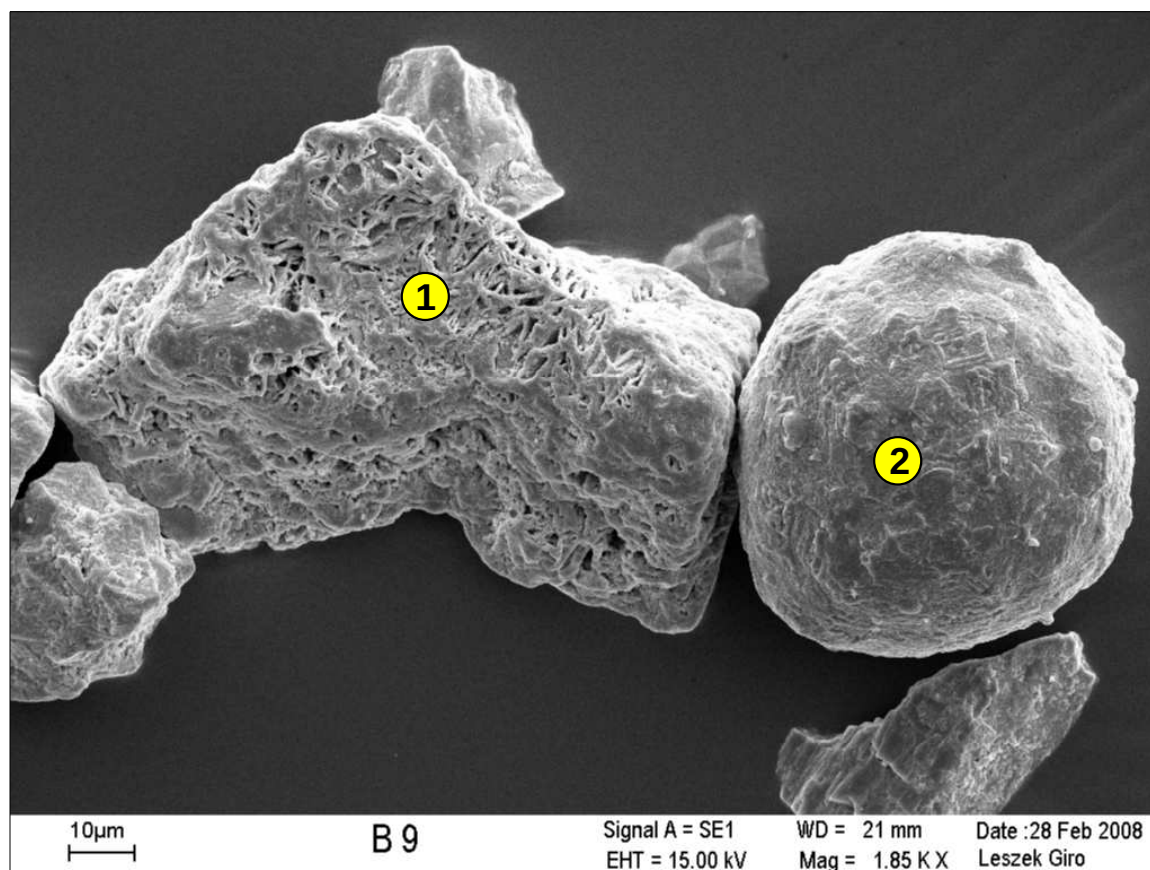
Rys. 39. Spektrum wykonane na powierzchni cząstki
w punkcie przedstawionym na rys. 38



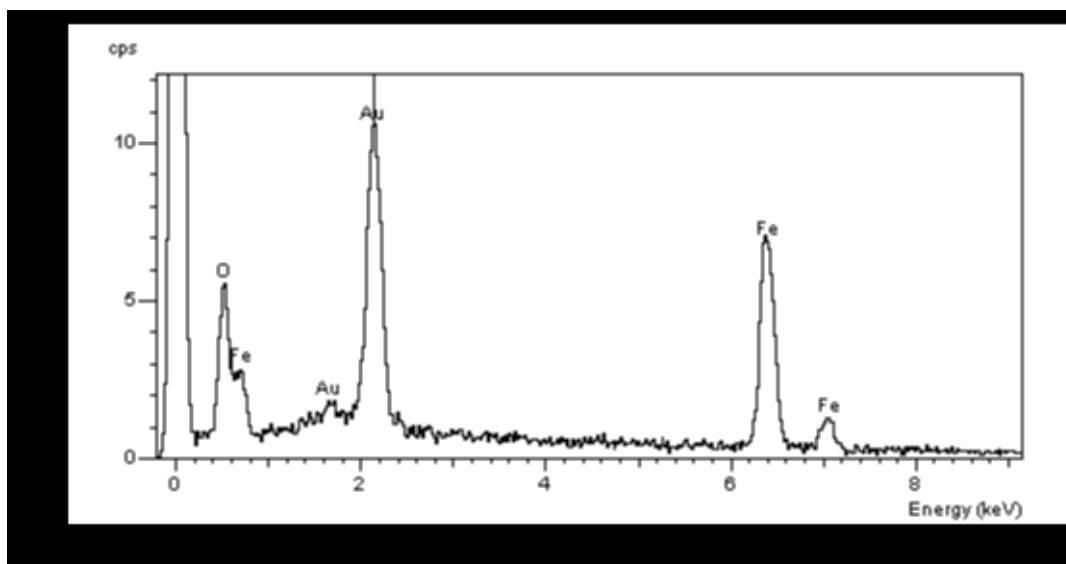
Rys. 40. Zdjęcie SEM



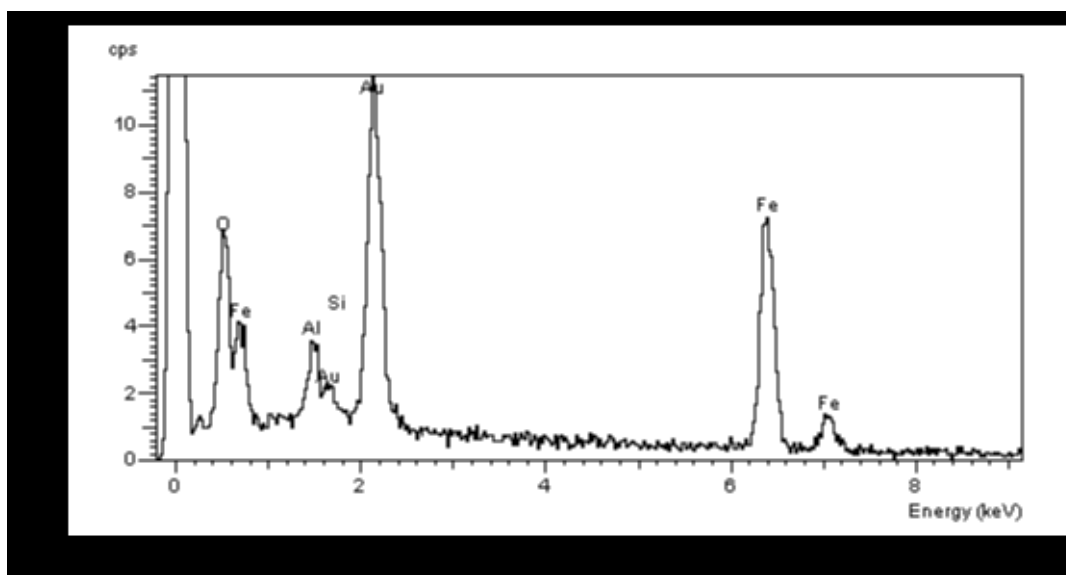
Rys. 41. Spektrum wykonane na powierzchni materiału detrytycznego w punkcie przedstawionym na rys 40.



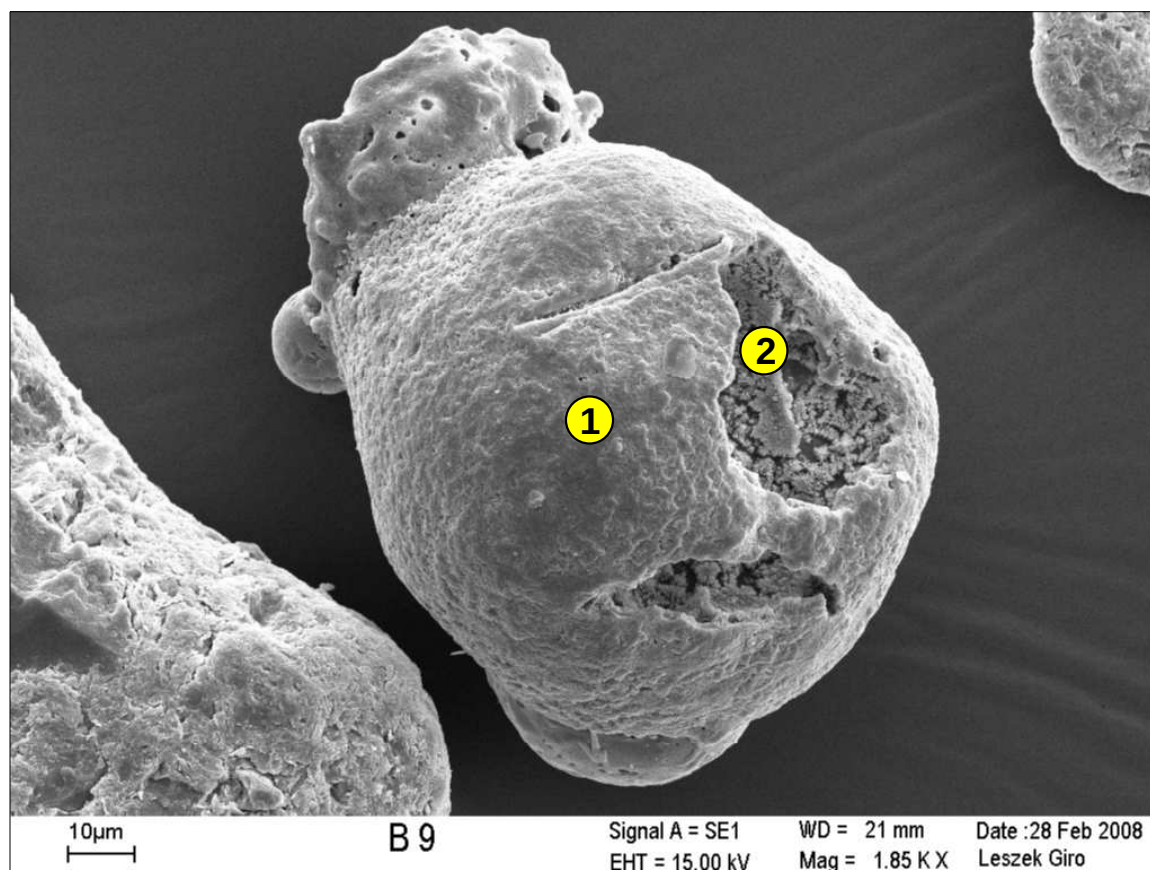
Rys. 42. Zdjęcie SEM



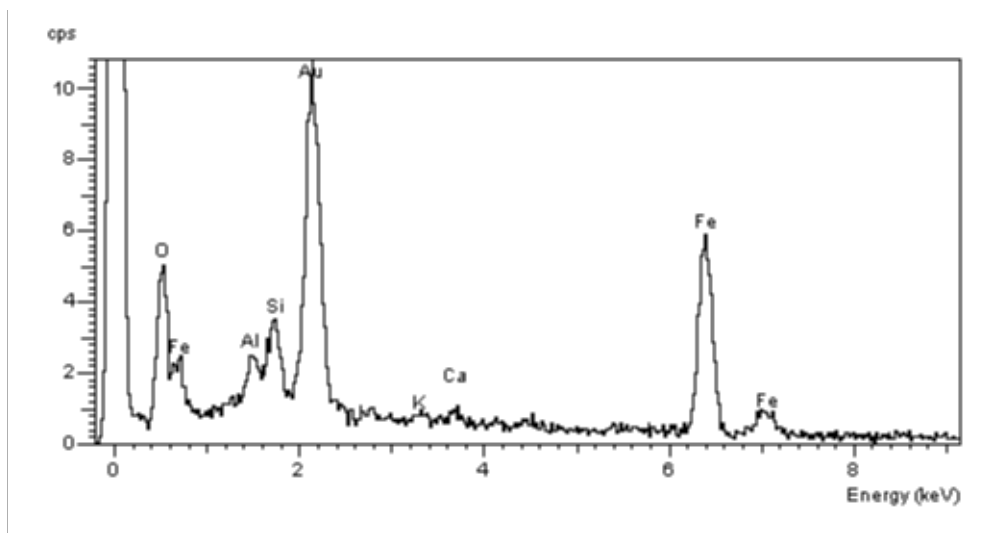
Rys. 43. Spektrum wykonane na powierzchni materiału magnetycznego w punkcie 1 (rys. 42)



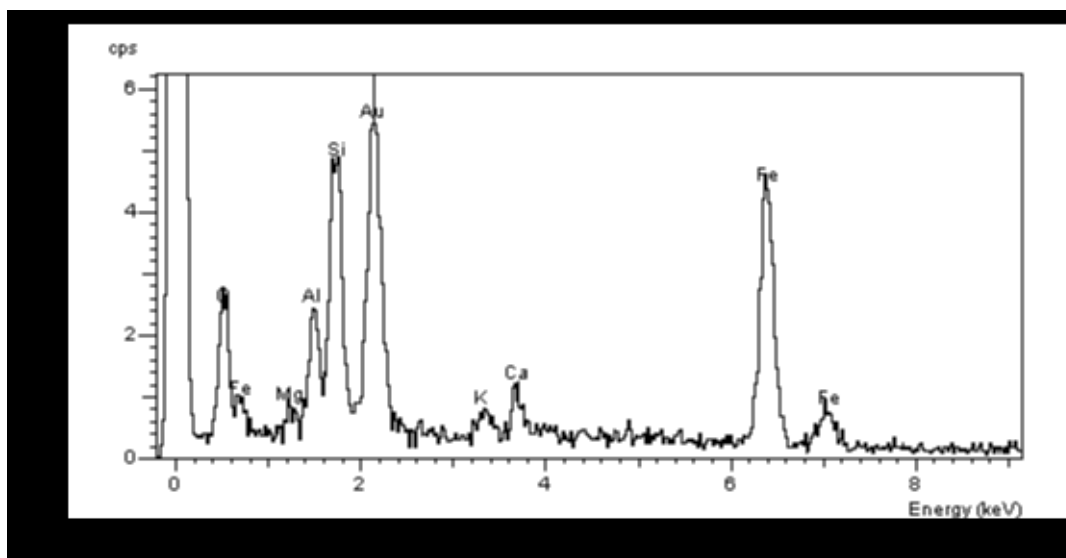
Rys. 44. Spektrum wykonane na powierzchni sferuli w punkcie 2 (rys. 43)



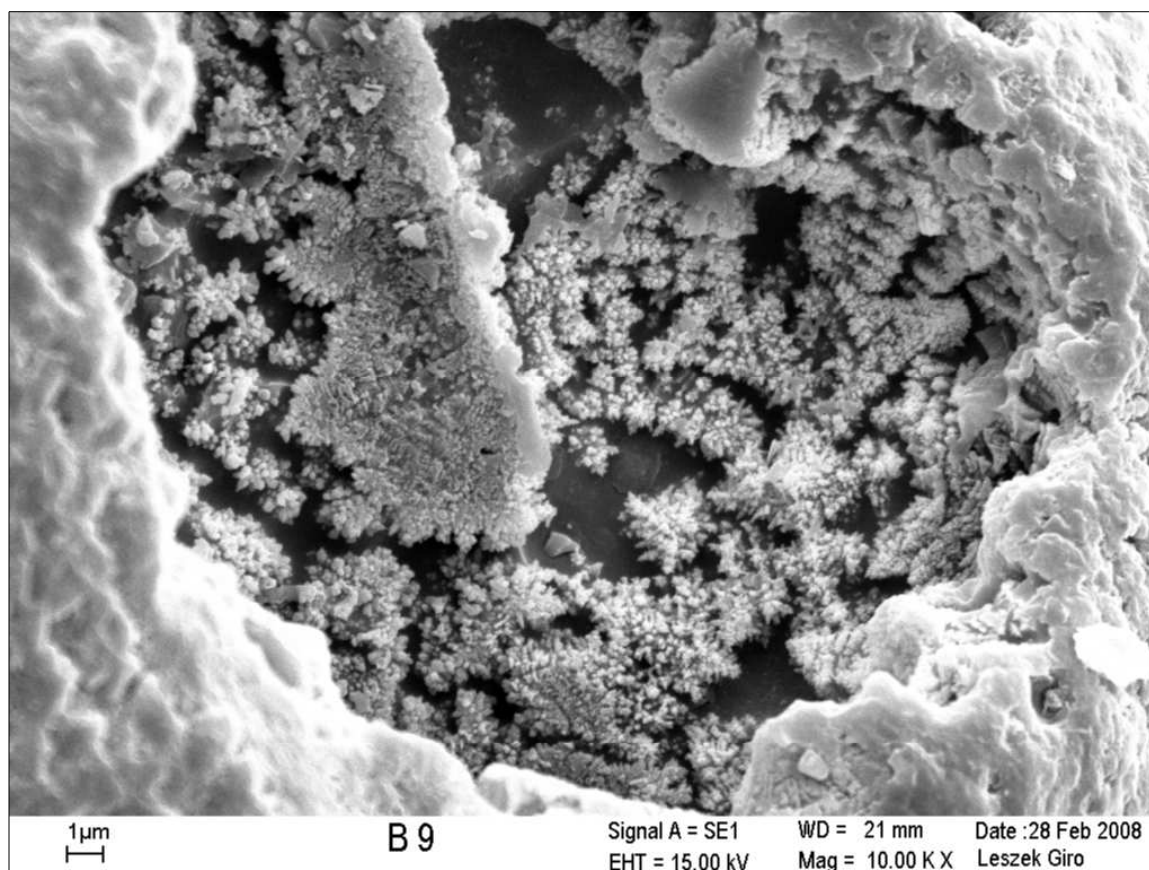
Rys. 45. Zdjęcie SEM



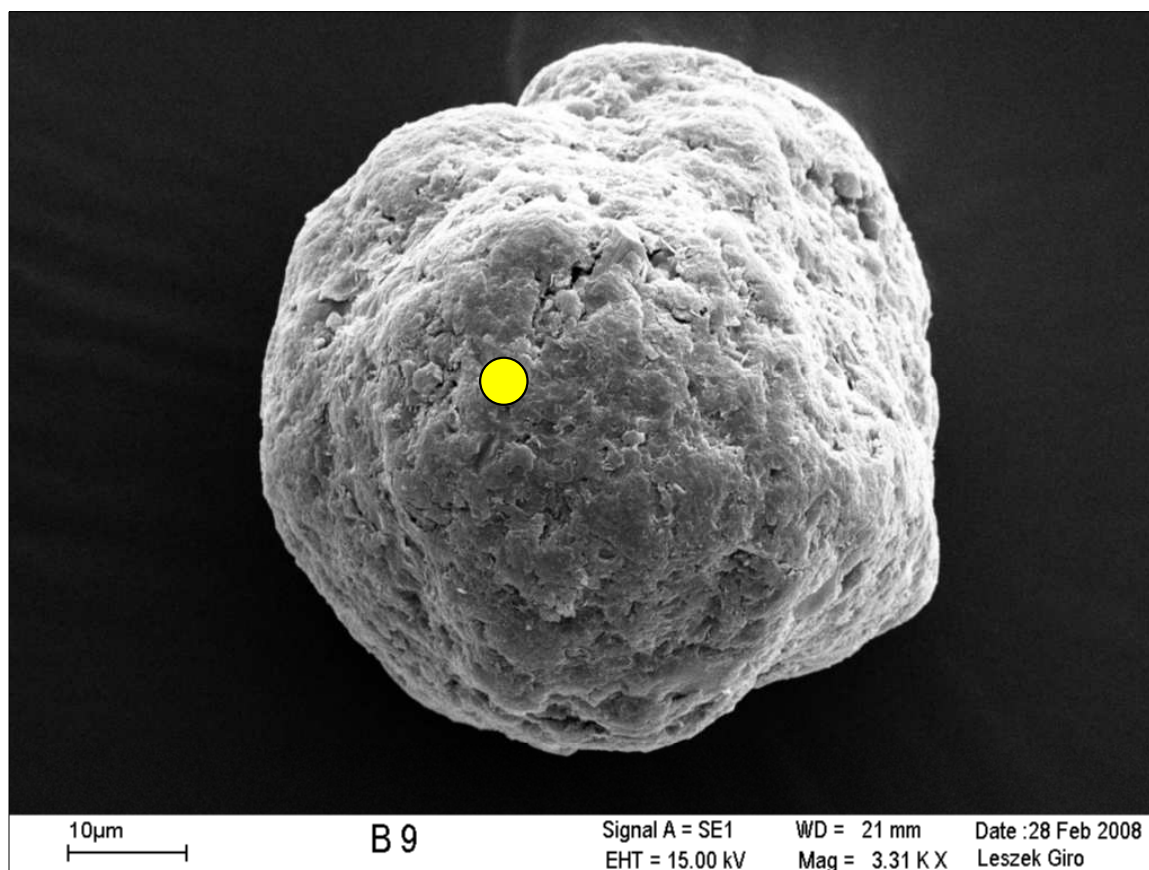
Rys. 46. Spektrum wykonane na powierzchni cząstki magnetycznej
w punkcie 1 (rys. 45)



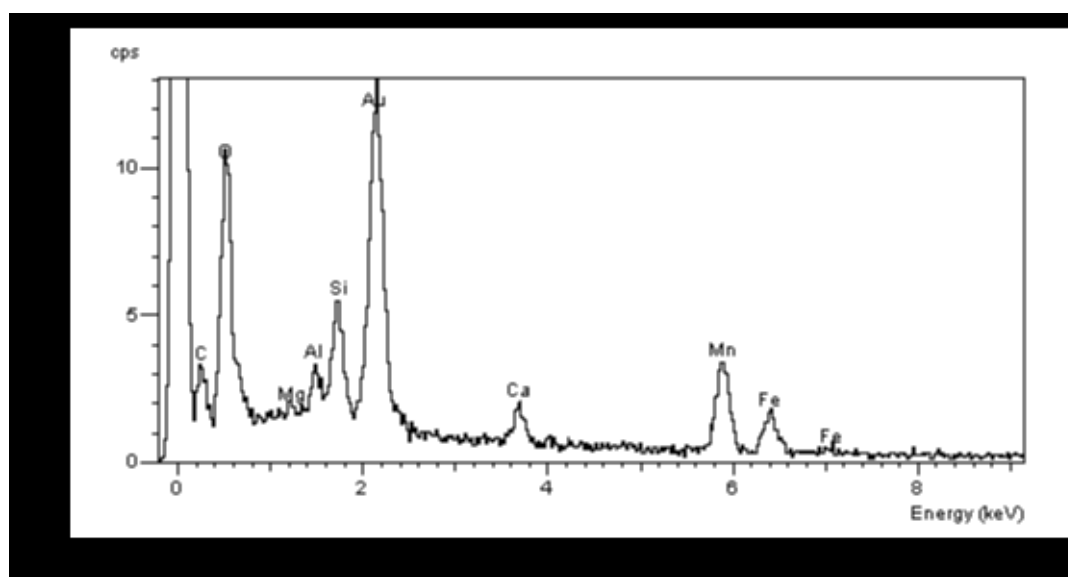
Rys. 47. Spektrum wykonane na powierzchni cząstki magnetycznej
w punkcie 2 (rys. 45)

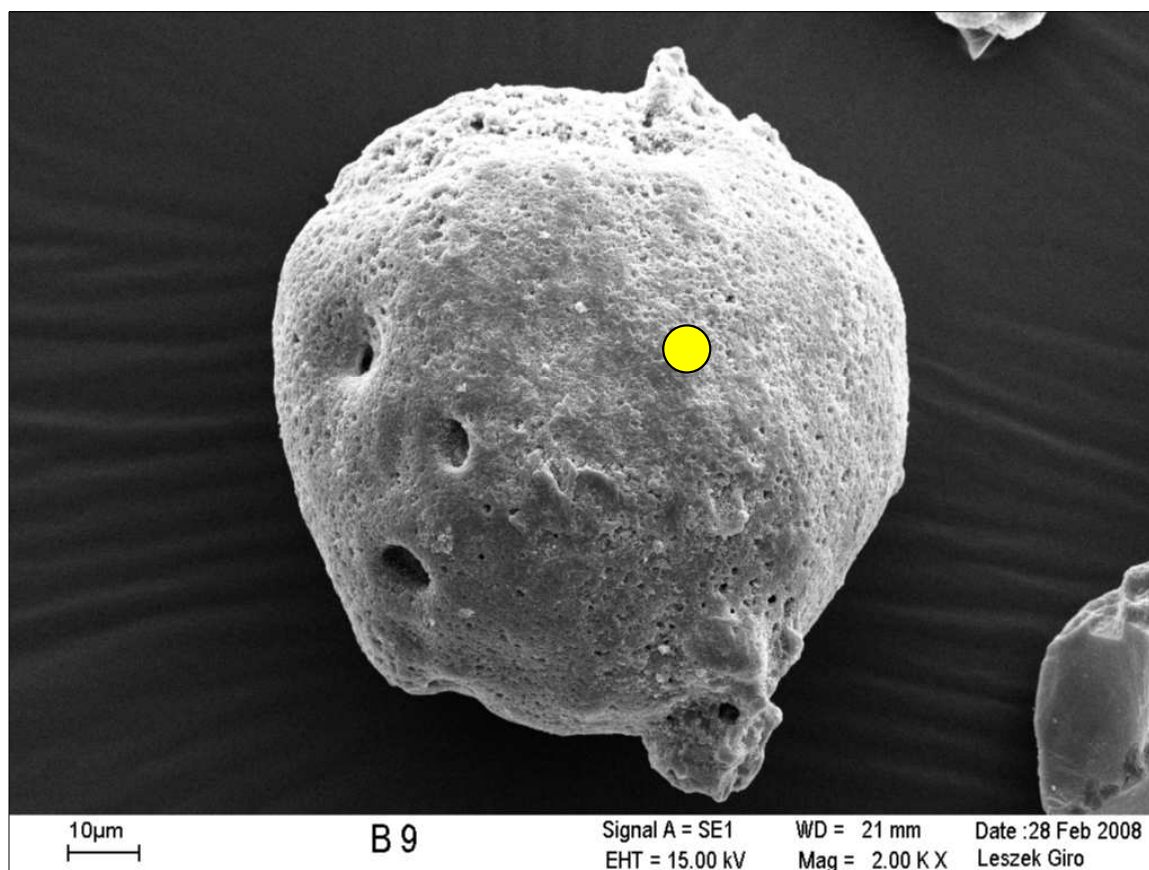


Rys. 48. Powiększony fragment zdjęcia na rys 45.

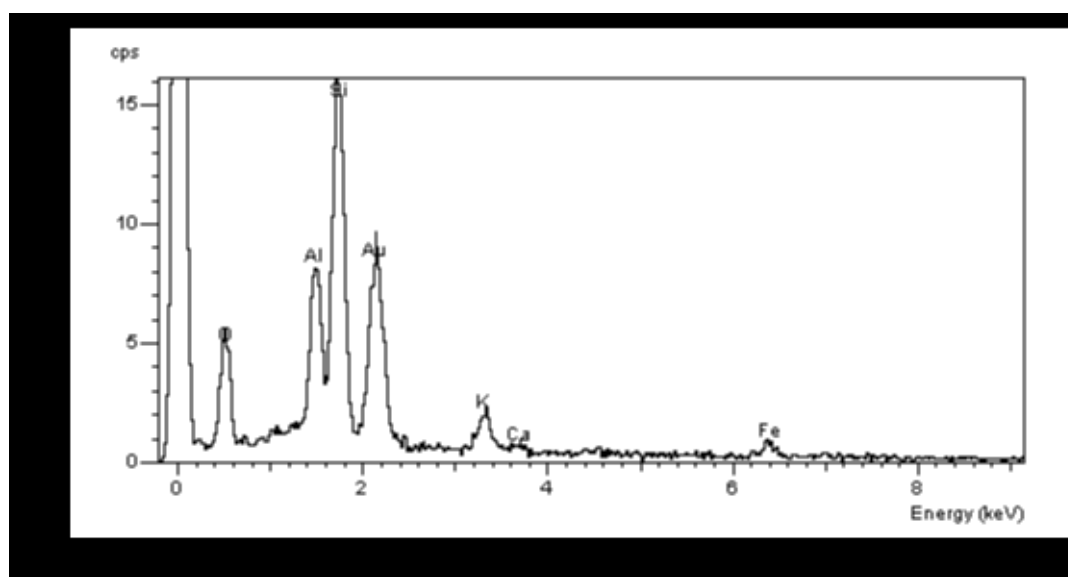


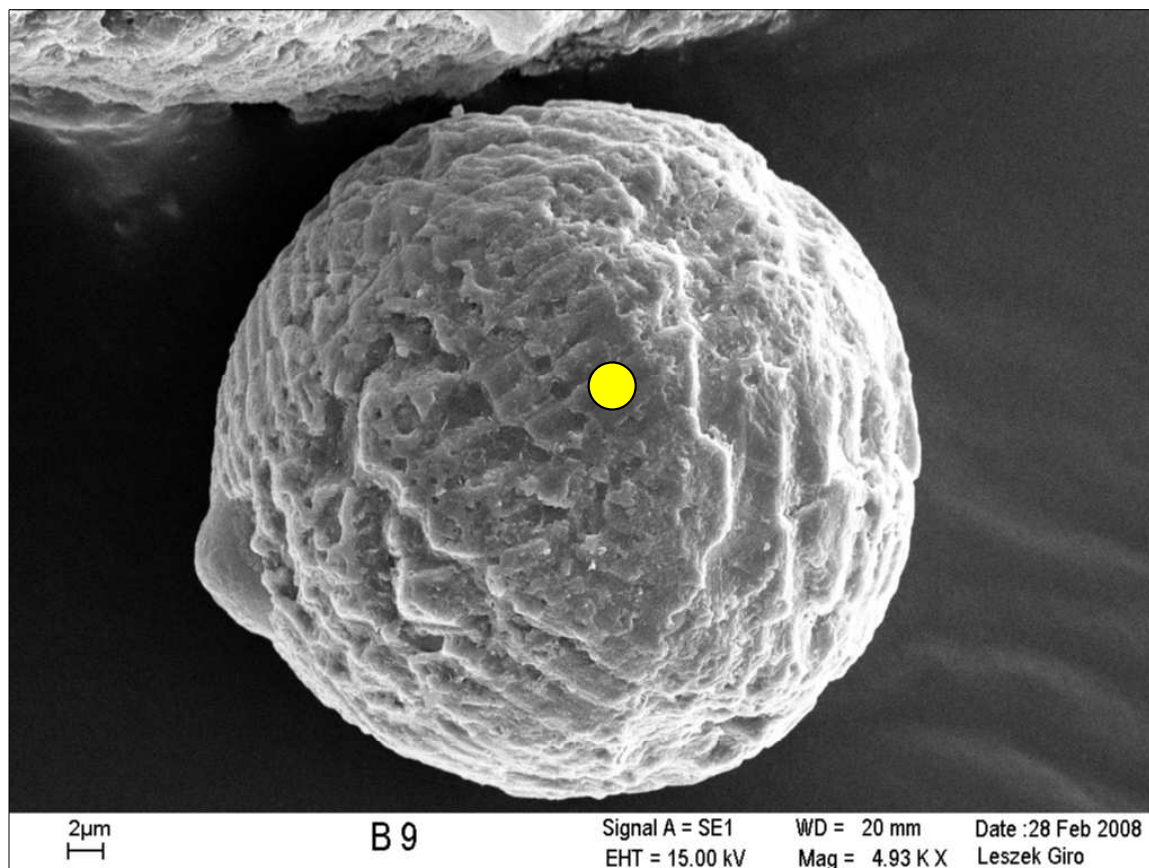
Rys. 49. Zdjęcie SEM

Rys. 50. Spektrum wykonane na powierzchni sferuli
w punkcie przedstawionym na rys. 49

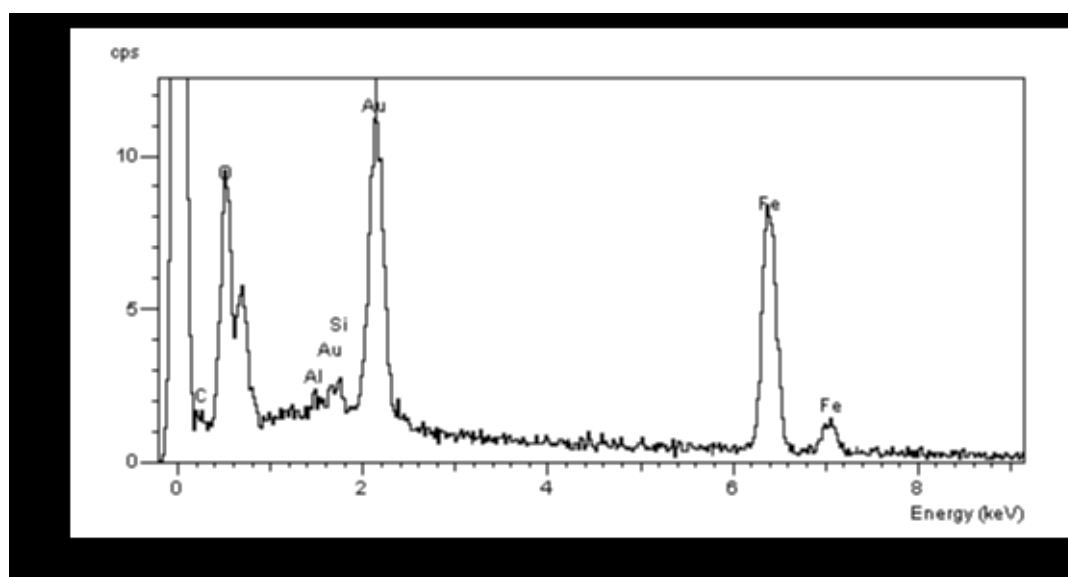


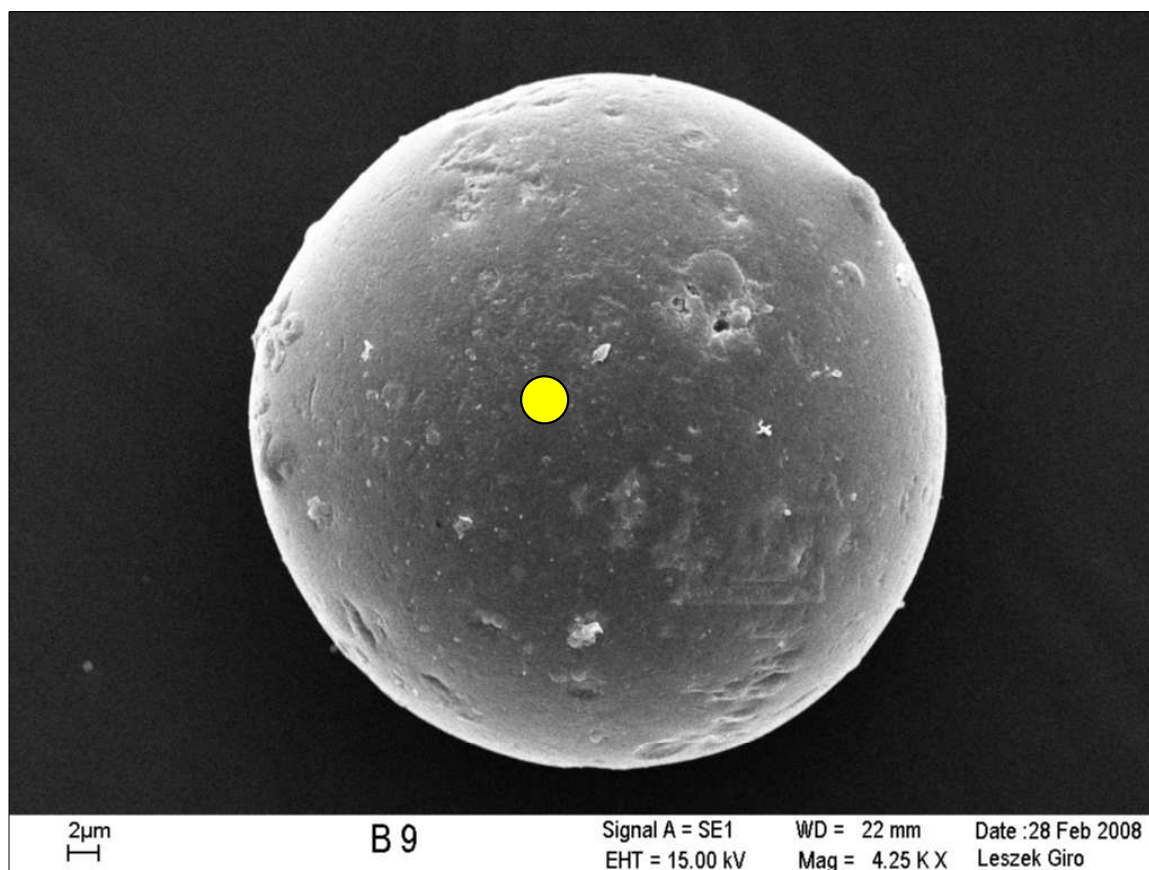
Rys. 51. Zdjęcie SEM

Rys. 52. Spektrum wykonane na powierzchni sferuli
w punkcie przedstawionym na rys. 51

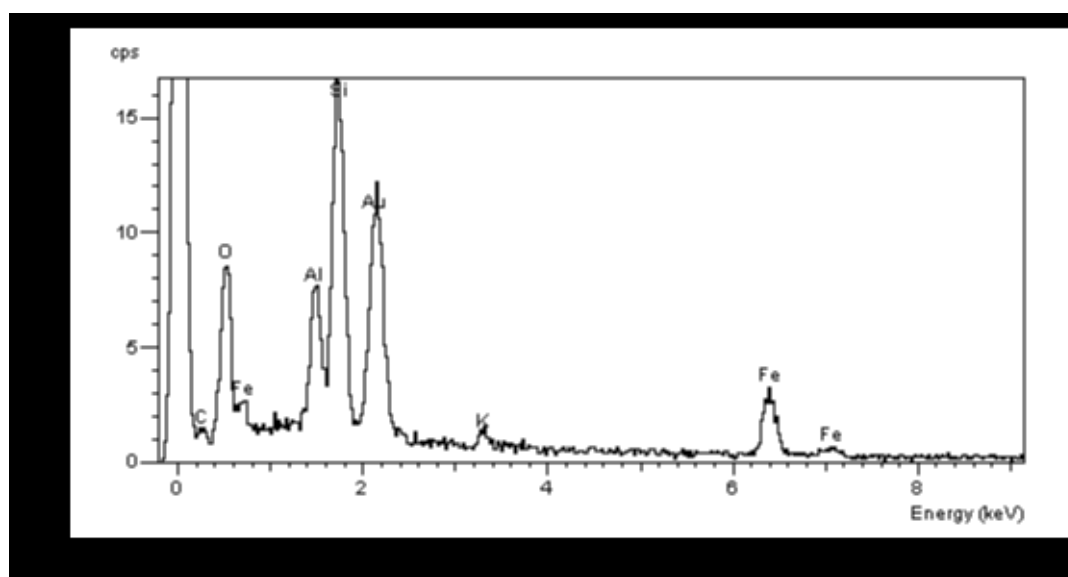


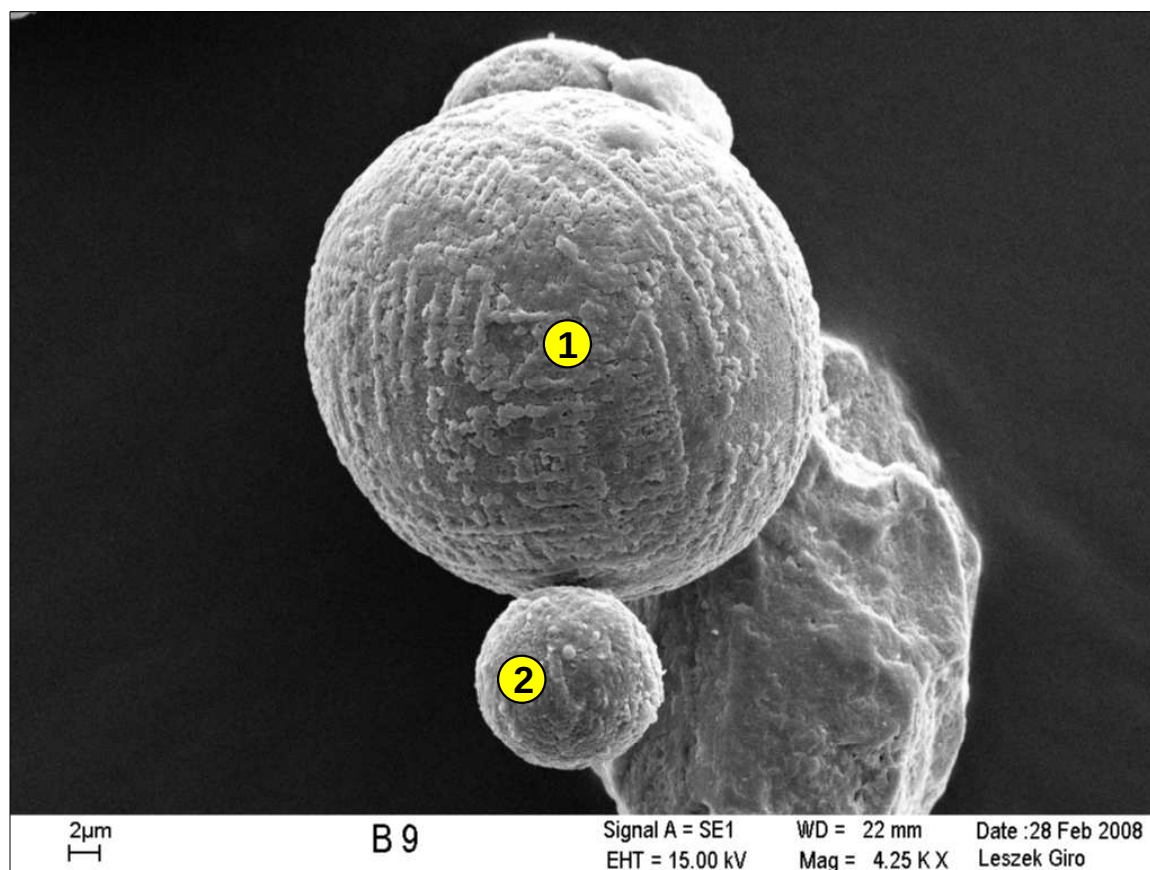
Rys. 53. Zdjęcie SEM

Rys. 54. Spektrum wykonane na powierzchni sferuli
w punkcie przedstawionym na rys. 53

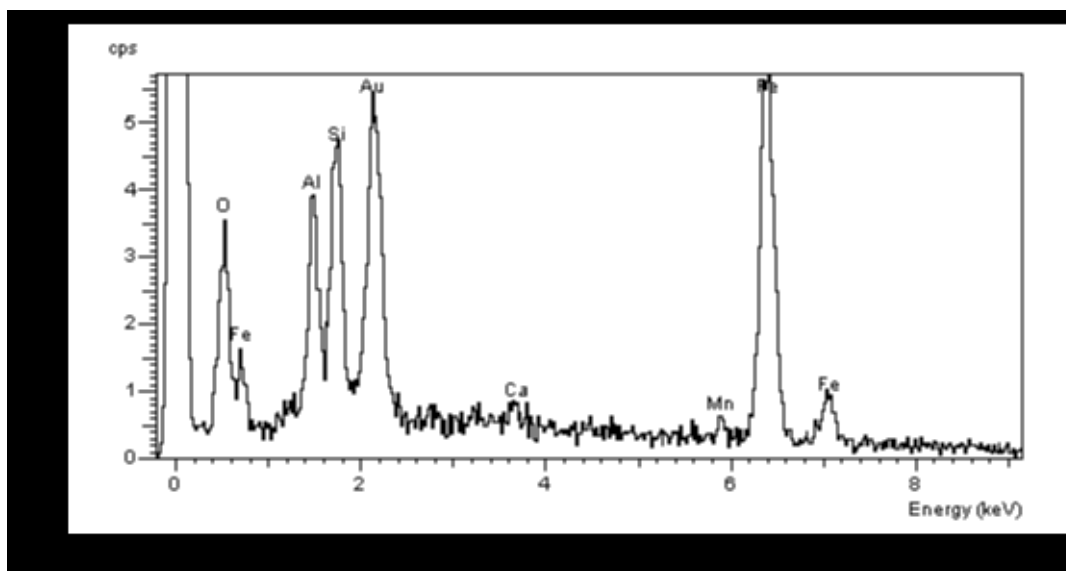


Rys. 55. Zdjęcie SEM

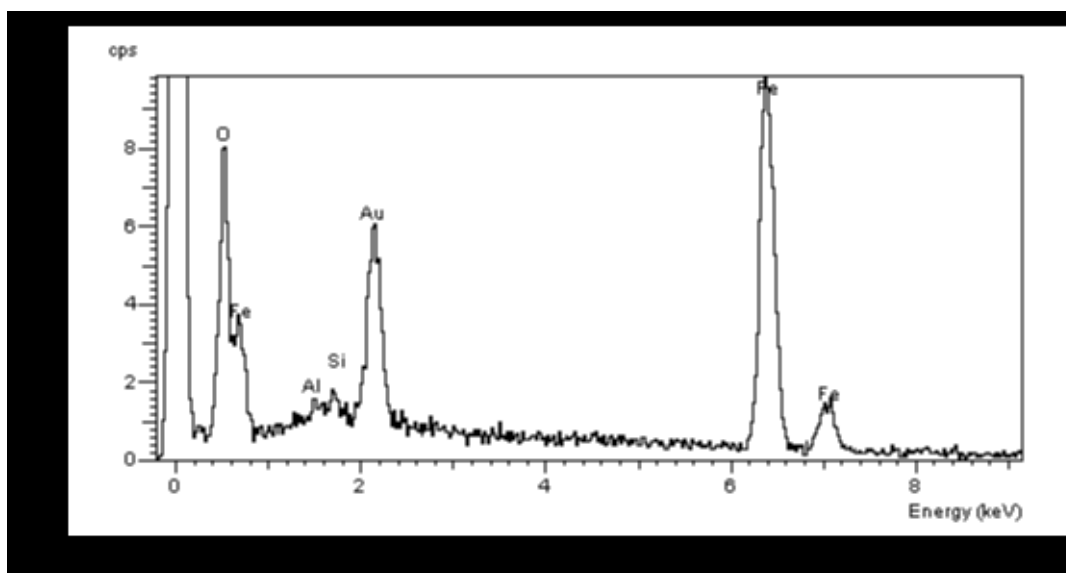
Rys. 56. Spektrum wykonane na sferuli o gładkiej powierzchni
w punkcie przedstawionym na rys. 55



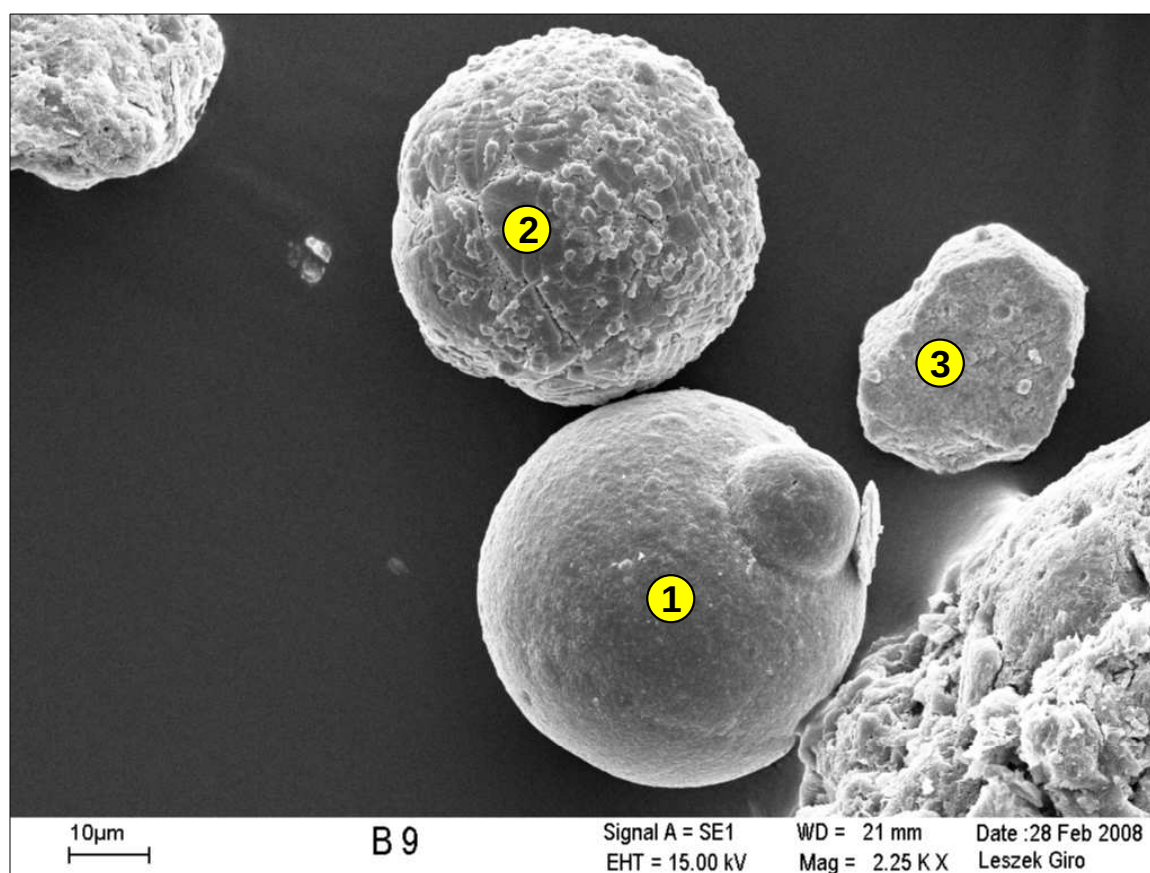
Rys. 57. Zdjęcie SEM



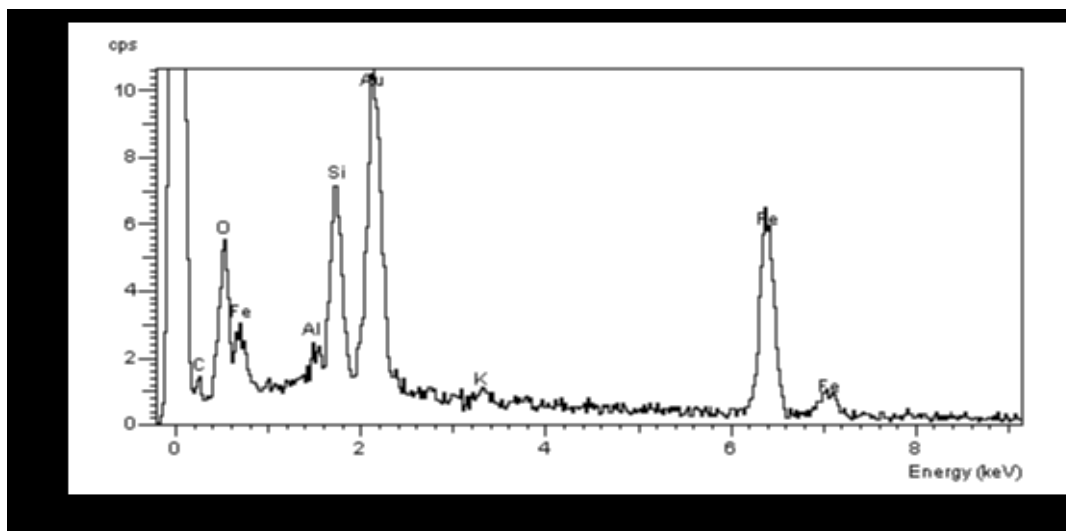
Rys. 58. Spektrum wykonane na powierzchni większej sferuli
(w punkcie 1 na rys. 57)



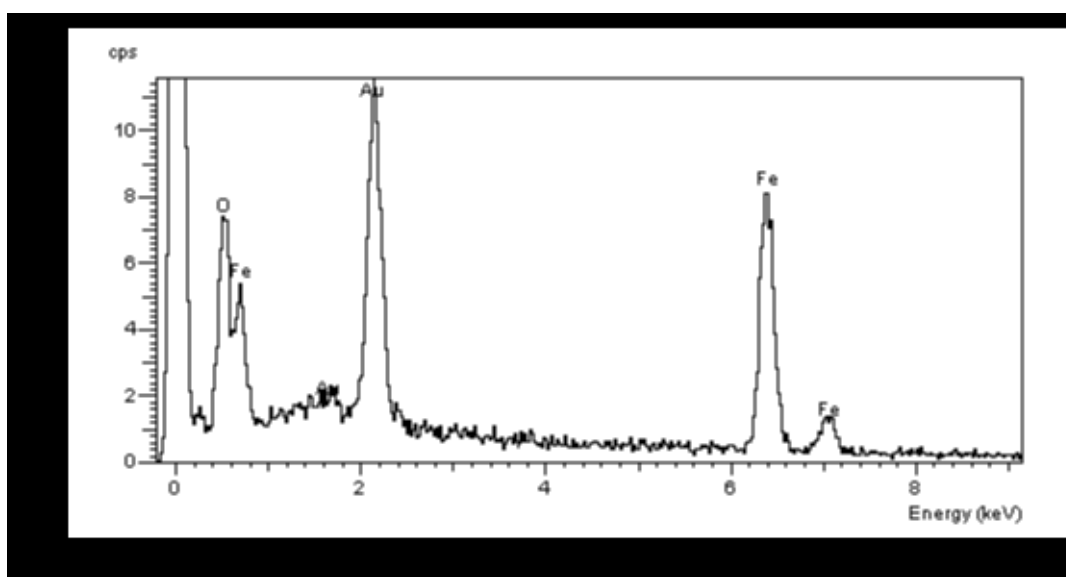
Rys. 59. Spektrum wykonane na powierzchni mniejszej sferuli
(w punkcie 2 na rys. 57)



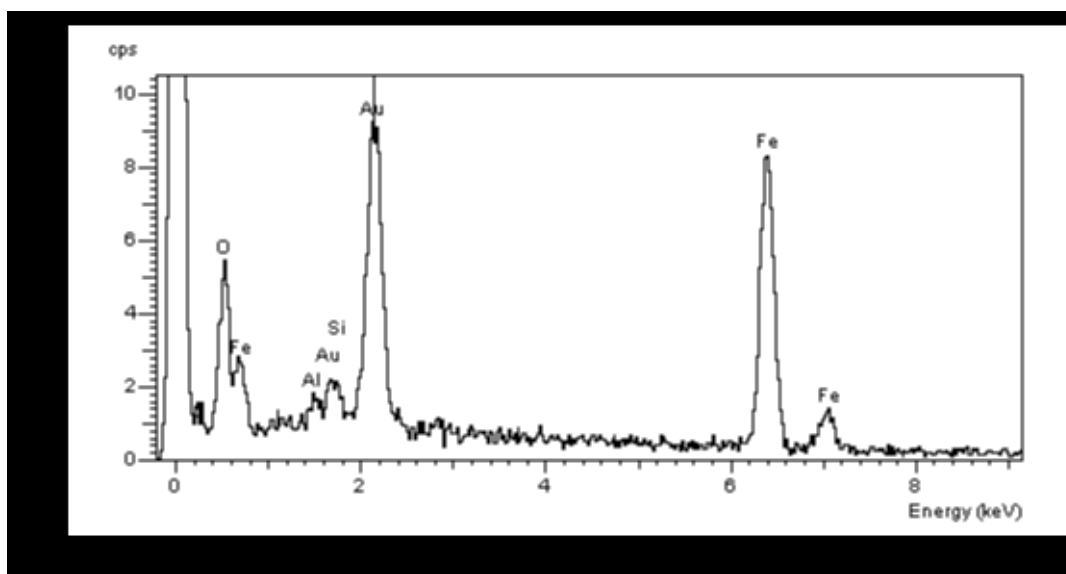
Rys. 60. Zdjęcie SEM



Rys. 61. Spektrum wykonane na powierzchni sferuli w punkcie 1 (rys. 60)

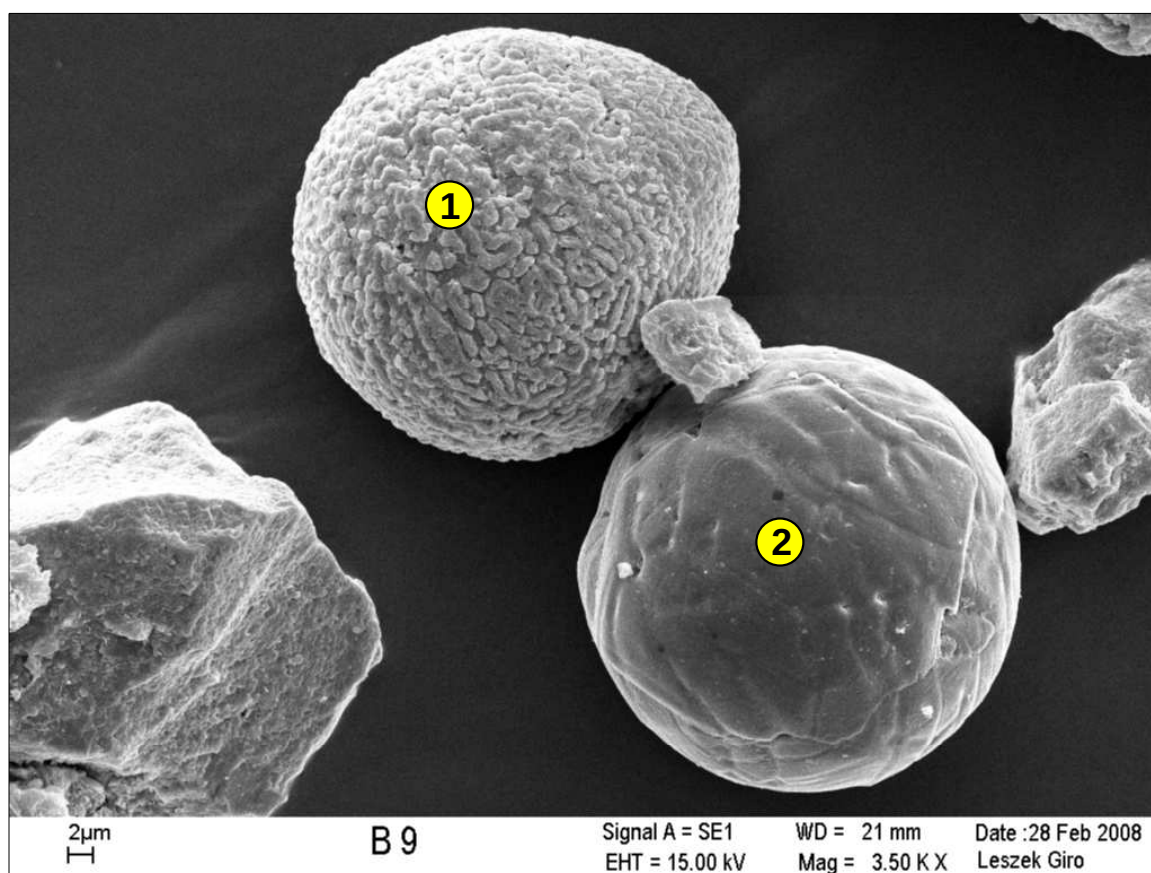


Rys. 62. Spektrum wykonane na powierzchni sferuli w punkcie 2 (rys. 60)

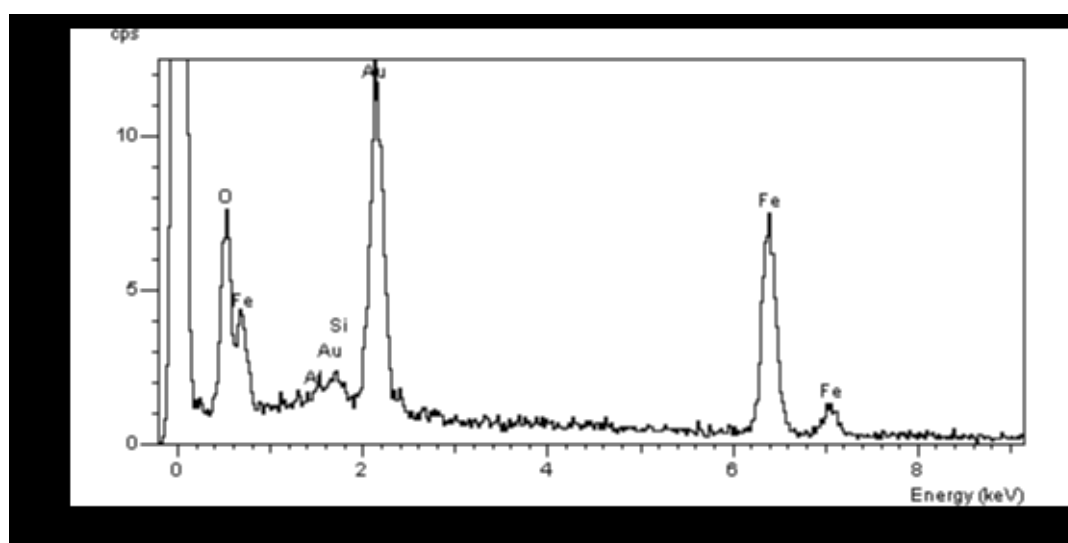


Rys. 63. Spektrum wykonane na powierzchni rozłamu ziarna w punkcie 3

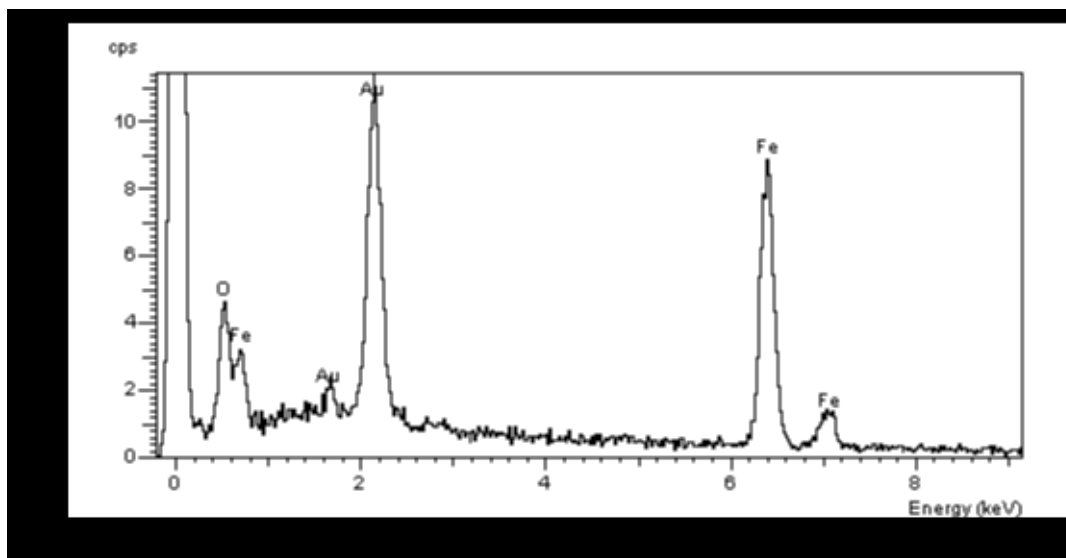
(rys. 60)



Rys. 64. Zdjęcie SEM



Rys. 65. Spektrum wykonane na powierzchni sferuli w punkcie 1 (rys. 64)



Rys. 66. Spektrum wykonane na powierzchni sferuli w punkcie 2 (rys. 64)

10. Podsumowanie

Badania podatności magnetycznej stosowane są m.in. w celu wstępnego określenia zawartości w glebie metali ciężkich. Badania te dostarczają informacji o zanieczyszczeniu gleby związkami niebezpiecznymi, stanowiącymi poważne zagrożenie dla świata ludzi, zwierząt i roślin.

Pomiary podatności magnetycznej są łatwe i tanie w wykonaniu, a ponadto odznaczają się wysoką efektywnością.

Pierwszym etapem badań podatności magnetycznej gleb są pomiary

„*in situ*”, które dają wstępną informację o rozkładzie tego parametru na danym obszarze. Natomiast drugim etapem badań są laboratoryjne pomiary podatności pobranych próbek gleb w celu przeprowadzenia bardziej szczegółowej analizy.

Próbka gleby, może nie być reprezentatywna dla obszaru, z którego pochodzi. W związku z tym, podatność magnetyczna próbki gleby jest zazwyczaj różna od wartości pomierzonej w terenie.

Pomiary podatności magnetycznej przeprowadza się najczęściej aparaturą MS2 lub kappabridżem, a pomierzone wartości różnią się między sobą. Wykazano, że przy pomiarach kappabridżem otrzymuje się wyższe wartości podatności magnetycznej próbek gleb w porównaniu z podatnością pomierzoną przy pomocy aparatury MS2B. Przeprowadzone pomiary dowiodły, że im wyższa jest podatność magnetyczna badanej próbki, tym różnice są większe (str. 58, tab. 5).

Podatność magnetyczna gleb może ulegać zmianie w związku z procesami pochodzenia wewnętrznego (procesy chemiczne, biogeniczne) i zewnętrznego (opad pyłów różnego pochodzenia). Dlatego na obszarach zagrożonych powinno się przeprowadzać monitoring podatności magnetycznej gleb. Pozwoliłoby to na śledzenie zmian tego parametru w czasie.

Szczególnie istotne wydaje się stosowanie badań kappametrycznych do oceny tempa zanieczyszczania gleby, a także procesów regeneracyjnych gleby na terenach zdewastowanych przemysłowo.

Pomiary podatności magnetycznej mogą być również wykorzystywane w wykrywaniu skażeń gleb i identyfikacji ich źródeł.

Szybkość i dokładność pomiarów kwalifikują tę metodę jako jedną ze skuteczniejszych we wstępnej ocenie wielkości zanieczyszczenia gleb.

11. Wnioski

Przeprowadzone w ramach niniejszej pracy badania są badaniami rekonesansowymi, dostarczającymi wstępnej informacji o rozkładzie podatności magnetycznej gleb w pobliżu Elektrociepłowni KRAKÓW.

Wykonane badania upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

1. Gleby badanego obszaru nie wykazują wysokich podatności magnetycznych. Najczęściej pomierzone podatności są w granicach $0 - 150 [10^{-5} \text{ SI}]$ (str. 59 i 60, rys. 32 – 35) i nie przekraczają wartości granicznej wynoszącej $380 [10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}]$. Upoważnia to do stwierdzenia (M. E. Evans i F. Heller, 2003), że obszar badań nie jest zdewastowany ekologicznie. Należy podkreślić, że przeprowadzone wcześniej badania geochemiczne przez A. Pasieczną nie wykazały w glebach Lasku Łęgowskiego i Łąk Nowohuckich podwyższonych zawartości metali ciężkich (A. Pasieczna, 2003).
2. Najwyższe podatności magnetyczne gleb i zawartości w nich metali ciężkich (A. Pasieczna, 2003) występują w próbkach pobranych w pobliżu dróg o dużym natężeniu ruchu samochodowego (str. 56, rys. 31).
3. Zaobserwowano wzrost podatności gleby w kierunku Nowej Huty (str. 48 rys. 26 i str. 53, rys. 29), co może mieć związek z osiadaniem pyłów przyniesionych przez wiatry zachodnie z Elektrociepłowni.
4. Badania laboratoryjne (częstotliwościowa zależność podatności magnetycznej) wykazały, że w glebach (Lasek Łęgowski) mogą występować cząstki magnetyczne pochodzenia naturalnego (superparamagnetyki) (str. 62, tab. 6).

5. Bezhisterezowa pozostałość magnetyczna (str. 64, tab. 7), izotermiczna pozostałość magnetyczna (str. 65, rys. 36) oraz krzywa termomagnetyczna (str. 68, rys. 37) wskazują na obecność w badanych próbkach gleb przede wszystkim cząstek magnetytu, a także maghemitu i siarczków żelaza.

6. Wykonane zdjęcia SEM cząstek magnetycznych uwiarykowały ziarna magnetytu występujące w formie sferul o wielkościach kilkudziesięciu μm i zróżnicowanej powierzchni (p. rozdz. 9.6).

7. Analiza spektralna cząstek magnetycznych wykazała obecność na powierzchni sferul: żelaza, glinu, krzemu, czasami wapnia i potasu, rzadziej tytanu, manganu lub magnezu (p. rozdz. 9.6).

Wykonane badania są badaniami rekonesansowymi i przedstawione wnioski dotyczą jedynie wybranego fragmentu terenu pomiędzy starym Krakowem a Nową Hutą.

12. Literatura

1. Evans M. E., Heller F. (2003) *Environmental Magnetism*. Academic Press Elsevier
2. Grabowska T. (1983) *Słownik geofizyki geologicznej*. Magnetometria Poszukiwawcza. Techniki Poszukiwań Geologicznych, **1-5**, Kraków
3. Grabowska T. *Geofizyka środowiska. Studia podyplomowe dla przedsiębiorców*. AGH, Kraków (niepublikowane)
4. Lis J., Pasieczna A. (1995) *Atlas geochemiczny Krakowa i okolic 1:100 000*. Państwowy Instytut Geologiczny, PAE S.A. Warszawa

5. Lowrie W. (1997) *Fundamentals of Geophysics*. 242-252, Cambridge University Press
6. Magiera T., Lis J., Nawrocki J., Strzyszczyński Z. (2002) *Podatność magnetyczna gleb Polski*. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN i Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
7. Magiera T., Strzyszczyński Z., Kapicka A., Petrovsky E. (2005) *Discrimination of lithogenic and anthropogenic influence on topsoils magnetic susceptibility in Central Europe*.
8. Merrill R. T., McElhinny M. W., McFadden P. L. (1998) *The magnetic field of the Earth* 83-89, Academic Press, International Geophysics Series
9. Mizerski W., Sylwestrzak H. (2002) *Słownik geologiczny*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
10. Pasieczna A. (2003) *Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
11. Piekarski K. (1983) *Analiza metalogeniczna-prognostyczna utworów paleozoicznych północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Ann. Soc. Geol. Pol. v. 53, no 1-4
12. Plewa M., Plewa S. (1992) *Petrofizyka*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
13. Polechońska O. (2007) *Źródła wybranych anomalii podatności magnetycznej gleb z obszaru Polski*. Praca doktorska (manuskrypt), Biblioteka Główna AGH, Kraków
14. Strzyszczyński Z. (1993) *Magnetic susceptibility of the soils in the areas influenced by industrial emissions, Soil Monitoring*. Monte Verità, Berlin
15. Stupnicka E. (1997a) *Geologia regionalna Polski*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa
16. Verosub K. L., Roberts A. P. (1995) *Environmental magnetism: Past, present, and future*. Journal of Geophysical Research, Vol. 100, NO. B2, Pages 2175-2192, February 10, Department of Geology, University of California, Davis
17. Westphal M. (1993) *Paleomagnetyzm i własności magnetyczne skał*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa

Mapy i objaśnienia do map

1. Główny Geodeta Kraju *Mapa topograficzna w skali 1 : 25 000, Państwowy Układ Współrzędnych 1965, Poziom Odniesienia Kronsztadt, Woj. M. Krakowskie, 163.33 Kraków*. Główny Urząd Geodezji i Kartografii
2. Główny Geodeta Kraju *Mapa topograficzna w skali 1 : 25 000, Państwowy Układ Współrzędnych 1965, Poziom Odniesienia Kronsztadt, Woj. Krakowskie Miejskie, 163.34 Kraków – Nowa Huta*. Główny Urząd Geodezji i Kartografii
3. *Kraków. Plan Miasta. Skala 1:20 000*. PPWK S.A.
4. Oprac. R. Gradziński (1956) *Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, 974. Niepołomice /M34-65C/*
5. Oprac. J. Rutkowski (1992) *Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, 973. Kraków*

6. Rutkowski, J. (1993) *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000*, 973. Kraków
7. Oprac. H. Jurkiewicz, J. Woźński (1979) *Mapa geologiczna Polski 1:200 000, A - mapa utworów powierzchniowych*, 66. Tarnów
8. Oprac. H. Jurkiewicz, J. Woźński (1979) *Mapa geologiczna Polski 1:200 000, B – bez utworów czwartorzędowych*, 66. Tarnów
9. Oprac. H. Jurkiewicz, J. Woźński (1980) *Objaśnienia do mapy geologicznej Polski 1:200 000*, 66. Tarnów
10. Oprac. H. Kaziuk, J. Lewandowski (1980) *Mapa geologiczna Polski 1:200 000, A - mapa utworów powierzchniowych*, 65. Kraków
11. Oprac. H. Kaziuk (1980) *Mapa geologiczna Polski 1:200 000, B – bez utworów czwartorzędowych*, 65. Kraków
12. Oprac. H. Kaziuk, J. Lewandowski (1980) *Objaśnienia do mapy geologicznej Polski 1:200 000*, 65. Kraków
13. Stupnicka E. (1997b) *Geologia regionalna Polski*, załącznik *Mapa geologiczna Polski - utwory prekambryjskie i paleozoiczne (bez permu)* w skali 1:1 333 000 na podstawie *Mapy geologicznej Polski i krajów ościennych bez utworów kenozoicznych, mezozoicznych i permskich*, skala 1:1 000 000, 1984 r., pod red. nauk. W. Pożaryskiego i Z. Dembowskiego, oprac. K. Bojkowski, W. Brochwicz-Lewiński, J. Dwořak, A. Kotas, W. Pożaryski, L. Sawicki, H. Tomczyk, A.M. Źelichowski
14. Stupnicka E. (1997c) *Geologia regionalna Polski*, załącznik *Mapa geologiczna Polski - utwory permskie, mezozoiczne oraz trzeciorzędowe w Karpatach* w skali 1:1 333 000 na podstawie *Mapy geologicznej Polski i obszarów przyległych, obszary pozakarpacie bez kenozoiku, Karpaty bez czwartorzędu*, skala 1:1 000 000, 1979 r., oprac. W. Pożaryski, W. Brochwicz-Lewiński, Z. Brodowicz, H. Jaskowiak-Schoeneichowa, J. Milewicz, L. Sawicki, T. Uberta

Strony internetowe:

1. <http://www.bartington.com/>
2. <http://www.eckrakow.pl/txt.html?msgId=764>
3. http://www.if.pw.edu.pl/~labfiz1p/cmsimple2_4/1instrukcje_pdf/35.pdf
4. <http://www.krakow.pl/miasto/ekologia/?id=01.html>
5. http://www.krakowlife.pl/mapa_krakow.php
6. http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/2007/ocena_biezaca_2006_ver_listopad.pdf
7. <http://office.microsoft.com/pl-pl/help/HP052623211045.aspx>
8. http://www.suder.nazwa.pl/nh/przewodnik_mogila_lasek_mogilski.html